

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
Одеський національний морський університет
Херсонська державна морська академія
ДП Науково-виробничий комплекс газотурбобудування «Зоря»–«Машпроект»
Регістр судноплавства України
Харбінський інженерний університет (Китай)
Університет науки і технологій Цзянсу (Китай)
Західнопоморський технологічний університет (Польща)
Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія)
MV WERFTEN Wismar GmbH (Німеччина)

МАТЕРІАЛИ

X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

4–5 листопада 2021 року



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: *Трушляков Є.І.* – д.т.н., проф. (Україна)

Заступники голови: *Павлов Г.В.* – д.т.н., проф. (Україна); *Сербін С.І.* – д.т.н., проф. (Україна); *Горбов В.М.* – к.т.н., проф. (Україна)

Вчений секретар: *Мітєнкова В.С.* – к.т.н, доцент (Україна)

Члени оргкомітету: *Белоусов Є.В.* – д.т.н., доц. (Україна); *Варбанець Р.А.* – д.т.н., проф. (Україна); *Грицук І.В.* – д.т.н., проф. (Україна); *Димо Б.В.* – к.т.н., проф. (Україна); *Радченко М.І.* – д.т.н., проф. (Україна); *Ткач М.Р.* – д.т.н., проф. (Україна); *Ся Гуйхуа* – prof (КНР); *Хведелидзе П.Г.* – д.т.н. проф. (Грузія); *Чередніченко О.К.* – д.т.н., доц. (Україна); *Чобенко В.Н.* – к.т.н. (Україна); *Шостак В.П.* – к.т.н., проф. (Україна); *Gershanik V.I.* – DSc (Німеччина); *Stachel A.A.* – DSc, Prof (Польща); *Themelis N.J.* – PhD (США)

Матеріали публікуються за оригіналами, поданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальний за випуск Горбов В.М.

Суднова енергетика: стан та проблеми : Матеріали
Х Міжнародної науково-технічної конференції, 4–5 листопада
2021 року. – Миколаїв : Видавничий дім «Гельветика», 2021. – 358 с.
ISBN 000–000–000–000–0

У збірнику наведені матеріали Х Міжнародної науково-технічної конференції, яка відбулась у Національному університеті кораблебудування (м. Миколаїв) 4–5 листопада 2021 року. Розглянуто різні аспекти науково-технічних, організаційних та екологічних питань, пов'язаних з дослідженням, проектуванням, виготовленням та експлуатацією суднових енергетичних установок суден різного призначення, дослідженням робочих процесів у елементах суднових енергетичних установок, а також шляхам удосконалення підготовки фахівців з суднової енергетики у вищих навчальних закладах. Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів та аспірантів.

УДК 629.12.03

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

<i>Trushliakov E., Radchenko M., Bohdal T., Tkachenko V., Tsaran F.</i> Increasing Performance of Air Conditioning System in Actual Climatic Conditions.....	9
<i>Serbin S., Burunsuz K., Chen D., Zongming Y.</i> Characteristics of a Combustion Chamber of a Gas Turbine Engine Operating on Associated Gas.....	12
<i>Гершаник В. И.</i> Оценка воздействия круизного судна на окружающую среду	15
<i>Варбанець Р.А., Кирнац В.І., Холденко В.І., Александровська Н.І.</i> Моделювання робочого процесу за даними систем DEPAS та IMES. Діагностика циліндрового змащування.....	20
<i>Нікончук С.В.</i> Влияние процесса декарбонизации топлива и выбросов на современный рынок судостроения и процесс подготовки молодых специалистов.....	22
<i>Чередніченко О.К.</i> Адаптація об'єктно-орієнтованих підходів до розв'язання задач дослідження енергетичних установок морських об'єктів нафтогазовидобування	24
<i>Коробко В.В.</i> Термоакустичні системи енергозбереження в судновій енергетиці	29
<i>Горбов В.М., Мітєнкова В.С.</i> Нариси з історії конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми»	33

Секція № 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

<i>Патлайчук В.М., Патлайчук О.В., Борщов О.М.</i> Розробка конструкції газотурбінного агрегату з ежекційним перерозширенням газу в турбіні	51
<i>Патлайчук В.М., Пустовойченко А.Є., Борщов О.М.</i> Методика теплового розрахунку газотурбінного агрегату з ежекційним перерозширенням газу в турбіні	55
<i>Погорлецький Д.С., Голота Є.С.</i> Модернізація системи охолодження гідравлічної рідини суднового крану Macgregor	58

<i>Кісетов Ю.В., Кукліна О.Ю.</i> Питання зменшення аварій обладнання СЕУ	61
<i>Кісетов Ю.В., Кукліна О.Ю.</i> Людський фактор і його вплив на аварійні випадки обладнання СЕУ	64
<i>Кісетов Ю.В., Кукліна О.Ю.</i> Визначення обґрунтованої вартості ремонту суднового обладнання	68
<i>Костромін М.О., Бондаренко М.С.</i> Аналіз заходів щодо використання в судновій енергетиці екологічно безпечних двигунів	70
<i>Поляруш О.Г., Бондаренко М.С.</i> Підвищення ефективності системи підготовки високов'язкого палива ГД танкера NICOS I.V.....	75
<i>Булгаков М.П., Дерменжи М.П.</i> Аналіз методів діагностування паливних систем дизелів	79
<i>Короленко В.Л.</i> Вдосконалення енергетичної установки контейнеровозу дедвейтом 42000 т шляхом, приведення до відповідності діючим вимогам ІМО.....	83
<i>Kostyrin V., Lychko B., Gogorenko O.</i> Improving the environmentality of ship energy installations due to the application of on-board cooling systems	85
<i>Багрій С.А.</i> Вплив вдосконалення системи утилізації теплоти головних двигунів танкерів-продуктовозів типу Раматах на ефективність установки при експлуатації у північній субтропічній та тропічній зонах світового океану.....	88
<i>Кузнецова С.А., Карпенко Д.І.</i> Зміни екологічно небезпечних викидів при застосуванні комплексних заходів у газовипускних системах дизельних двигунів на судах ріка-море	91
<i>Приступ Д.В.</i> Зниження шуму при експлуатації суднових дизель-генераторів поромів типу RO-PAK дедвейтом 5300 т	95
<i>Кирюхін В.В.</i> Підвищення ефективності систем утилізації теплоти відпрацьованих газів дизель-генераторів на балкерах дедвейтом до 70000 тон при експлуатації на рейсовій лінії Миколаїв – Тріполі.....	97
<i>Горбов В.М., Соломонюк Д.М.</i> Вибір критерію порівняння конструкцій регенераторів ГТУ	100
<i>Варбанець Р.А., Залож В.І., Тарасенко Т.В.</i> Застосування результатів діагностування головних дизелів для обґрунтування оптимальних режимів експлуатації	103
<i>Анастасенко С.М.</i> Підвищення умов оптимальної надійності проводки судів в багатокомпонентній системі в умовах застосування диференціального режиму і економії палива	107
<i>Капура І.А.</i> Розвиток технічної експлуатації суднових енергетичних установок на базі інформаційних технологій.....	111
<i>Горбов В.М., Мітенкова В.С., Єлеонська О.С.</i> Аналіз складу та схемних рішень суднових енергетичних установок гібридного типу	114
<i>Компаніченко О.П., Термов С.В.</i> Покращення екологічності суднових малообертових двигунів за допомогою технології EGR.....	117
<i>Кузнецов Г.В., Яковлев М.Ф.</i> Енергетичні установки військових кораблів	120

Секція № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

<i>Белоусов Е.В., Савчук В.П., Самарин А.Е., Белоусова Т.П., Рыбальченко Н.Е.</i> Истечение газового топлива из сопловых каналов газоподающего модуля малооборотного газодизельного двигателя среднего давления	126
<i>Ніколаєв Є.М., Бондаренко М.С.</i> Удосконалення системи охолодження головного двигуна судна проекту CNF09	131
<i>Ватаман Р.В.</i> Анализ эффективности теплоиспользующих систем охлаждения наддувочного воздуха дизельных установок	135
<i>Forduy S., Radchenko A., Zubarev A., Bohdal L., Khaldobin V., Konovalov A.</i> Increasing efficiency of gas engines in integrated energy system by scavenge air cooling in absorption chiller	139
<i>Forduy S., Zubarev A., Mikielewicz D., Ostapenko O., Hrych A., Khaldobin V.</i> Improving the efficiency of gas engine heat utilization by ejector-absorption chillers.....	141
<i>Козловський А.В.</i> Вплив геометричних параметрів проточної частини камери згоряння ГТД на стійкість процесів горіння	144
<i>Козловський А.В., Баклан О.В.</i> Дослідження параметрів турбіни високого тиску ГТА з ТУК номінальною споживаною потужністю 25 МВт.....	146
<i>Козловський А.В., Вілкул С.В.</i> Дослідження характеристик плазмового генератора, призначеного для підвищення стабільності процесів в камері згоряння ГТД.....	148
<i>Лашко П.В.</i> Анализ схем теплоиспользующей установки охлаждения наддувочного воздуха с использованием избыточной теплоты уходящих газов на выходе	151
<i>Личко Б.М., Макаренко О.С., Проскурін А.Ю., Резанов І.О., Пінчук П.О.</i> Вдосконалення системи управління подачею палива дизельних двигунів.....	155
<i>Маулевич В.О., Варбанець Р.А.</i> Експлуатація судових двигунів MAN B&W типу ME з електронним керуванням на низькосірчаному паливі.....	157
<i>Мінчев Д.С., Гогоренко О.А., Мошенцев Ю.Л.</i> Експериментальне дослідження режимів роботи відцентрового компресора	160
<i>Мухаметханов Р.С.</i> Визначення резервів підвищення ефективності турбонаддуву судових дизелів і напрямку їх реалізації	166
<i>Наливайко В.С., Хоменко В.С., Савчук П.С.</i> Історія створення двигунів внутрішнього згоряння типу Д100	170
<i>Наливайко В.С., Авдюнін Р.Ю., Челпанов А.О.</i> Аналіз взаємного руху поршнів двотактного дизеля типу Д100.....	173
<i>Грич А.В., Остапенко О.В.</i> Вплив двоступеневого кондиціювання повітря на ефективність газових двигунів автономної теплоелектростанції	178
<i>Грубий М.А., Коштовний В.П.</i> Покращення показників судових СОД при використанні водню в якості палива.....	181
<i>Остапенко А.В., Грич А.В.</i> Повышение эффективности трансформации теплоты гозового двигателя в холод использованием ступенчатой трансформации в ЭХМ и	185

АБХМ	
<i>Morhun S.</i> Gas turbine engine rotors forced vibration under the non-stationary real gas flow load study.....	189
<i>Семенов М.М., Шаповалов Ю.О., Костенко В.А.</i> Дослідження деаераторів при модернізації котельні теплопродуктивністю 4,2 МВт.....	191
<i>Семенов М.М., Шаповалов Ю.О., Дмитрієв Р.Ю.</i> Дослідження методів експлуатаційного контролю металу трубопроводів при модернізації систем головних циркуляційних насосів АЕС	194

Секція № 3. ЕНЕРГООЩАДНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

<i>Боду С.Ж., Чікал М.А.</i> Зміцнення шліцьових елементів методами поверхневого пластичного деформування.....	199
<i>Животовский В.А., Минчев Д.С.</i> Перспективы использования морских судов с электрическими СЭУ	202
<i>Kornienko V.</i> Modeling the pollution processes on the low-temperature surfaces of exhaust gas boilers with water-fuel emulsion combustion	207
<i>Корнелюк О.М.</i> Проблеми прийняття проектних рішень при проектуванні гребних гвинтів у складі пропульсивної установки судна	210
<i>Кузнецов В.В., Шевцов А.П.</i> Підвищення ефективності і компактності суднових енергетичних установок інтенсифікацією теплопередачі в їх елементах	214
<i>Lytosh O.V.</i> Features application and improvement of hermetic compressor units of shipboard equipment of air conditioning and refrigeration	217
<i>Тихонов Б.А., Личко Б.М., Рязанцев П.А.</i> Аналіз застосування роторів Флеттнера у якості допоміжних суднових рушіїв для контейнеровоза	223
<i>Мадей В.В.</i> Забезпечення екологічності роботи суднових дизелів під час використання біопалива	227
<i>Мар'янов Д.М.</i> Підтримка густини та седиментаційної стійкості технічних рідин, що транспортуються морськими суднами.....	231
<i>Николаев О.Л., Полищук В.А., Сич А.В., Николаенко С.О., Руденко М.Ю.</i> Удосконалення технології виготовлення косозубих коліс та конічних шестерень	235
<i>Новошицкий А.В., Бражник И.Б., Рибальченко В.П., Тусова И.В.</i> Технологія перфорування тонкостінних деталей суднових конструкцій	239
<i>Подгуренко В.С., Терехов В.Е.</i> Повышение эффективности эксплуатации ветровых электрических установок	243
<i>Гришук І.В., Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Акімов О.В., Білай А.В.</i> Теплова підготовка двигуна суднової енергетичної установки портового буксиру.....	247
<i>Полищук В.А., Николаев О.Л., Зомов Я.А., Кобельчук О.О.</i> Аналіз системи показників динамічної якості верстатних пристосувань для механічної обробки деталей	253
<i>Проскурін А.Ю., Довбенко М.М., Цуркан І.О., Матвеев В.В., Куліков А.М.</i> Підвищення ефективності роботи системи живлення газодизельних двигунів	257
<i>Ратушняк І.О., Гнатюк С.О.</i> Очищення забруднених суднових вод адсорбентами із відходів виробництва.....	259

<i>Ратушняк І.О., Ратушняк Л.П.</i> Вдосконалення оцінки еколого-економічної ефективності систем очищення суднових нафтовмісних вод	263
<i>Сагін А.С.</i> Оптимізація експлуатаційних показників роботи циркуляційних систем мащення суднових дизелів	266
<i>Соломонюк Д.М.</i> Утилізація низькопотенційної теплоти ГТУ тепловими насосами, що працюють на водяній парі.....	269
<i>Грич А.В., Остапенко О.В.</i> Система кондиціювання з глибоким двоступеневим охолодженням повітря машинного відділення автономної теплоелектростанції.....	273
<i>Зубко І.В., Булдаков А.В.</i> Застосування спиртових палив в СЕУ	277
<i>Онищенко В.В., Терех Р.В.</i> Утилізація вторинних енергоресурсів як шлях до підвищення ефективності СЕУ.....	282
<i>Іванов А.А., Свиридов В.І.</i> Екологічна безпека при експлуатації морського транспорту	286
<i>Остапенко А.В., Грич А.В.</i> Двухпоточная эжекторно-абсорбционная система трансформации сбросного тепла газопоршневого модуля.....	290
<i>Trofytenko D.S.</i> , Assessment of change in thermal balance of container vessel's post-triple e- class me when switching to ammonia as the main fuel.....	294
<i>Шостак В.П., Личко Б.М., Манзюк А.Ю.</i> Суднові пропульсивні установки з головним поршневим двигуном і утилізаційною паровою або газовою турбіною.....	299
<i>Семенов М.М., Шаповалов Ю.О.</i> Математична модель теплопереносу при сушінні і термічному розкладанні частинок відходів на водному транспорті	302
<i>Ткач М.Р., Галинкін Ю.М., Ключник В.С., Золотой Ю.Г.</i> Удосконалення технології випробування лопаток ГТД методом електронної спекл-інтерферометрії	307
<i>Ключник В.С., Ткач М.Р., Золотой Ю.Г., Галынкин Ю.Н., Проскурин А.Ю.</i> Улучшение метода цифровой спекл-интерферометрии для определения вибрационных характеристик лопаток газовой турбины.....	312
<i>Московко О.О.</i> Оцінка ефективності системи примусового запуску термоакустичного двигуна на прикладі контейнеровозу типу EXPLORER CLASS	316
<i>Колбасенко О.В., Димо Б.В.</i> Результати аналітичних досліджень горіння водопаливних емульсій	320

Секція № 4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ

З СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ВНЗ

<i>Патлайчук О.В.</i> Формування "soft skills" як одне з призначень гуманітарної складової освітніх програм технічних спеціальностей	324
<i>Patlaichuk O.V., Patlaichuk V.M.</i> Soft skills as necessary qualities of a contemporary engineer.....	327
<i>Кісетов Ю.В., Кукліна О.Ю.</i> Деякі питання вивчення курсу комп'ютерної графіки студентами машинобудівних спеціальностей.....	329
<i>Семенов М.М., Соломонюк Д.М., Шаповалов Ю.О.</i> Досвід впровадження віртуального лабораторного практикуму для спеціальності теплоенергетика.....	333
<i>Сорокіна Т.М., Личко Б.М.</i> Сучасні фахові терміни у дизелебудуванні	336
<i>Нікончук С.В., Єлеонська О.С., Мітенкова В.С.</i> Використання CADMATIC у начальному процесі для формування практичних навичок проектування	339

<i>Ратушняк І.О., Маршак О.І.</i> Проблемні питання діяльності закладів фахової передвищої освіти на сучасному етапі.....	342
<i>Шостак В.П.</i> Друкований робочий зошит при вивченні дисциплін суднової енергетики.....	345
<i>Мітенкова В.С.</i> Використання фреймів при викладанні англійської мови за професійним спрямуванням для суднових електромеханіків	348
<i>Горбов В.М., Горбова Г.О.</i> Підвищення ефективності засвоєння основних положень морських конвенцій у навчальному процесі	352
<i>Остапенко І.О., Коцюр М.М., Ротар С.В., Чередніченко О.К.</i> Застосування on-line програм CEAS ENGINE CALCULATIONS та GTD2 при математичному моделюванні процесів в суднових енергетичних установках	355

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

UDC 621.57

INCREASING PERFORMANCE OF AIR CONDITIONING SYSTEM IN ACTUAL CLIMATIC CONDITIONS

Trushliakov E.

Radchenko M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

nirad50@gmail.com

Bohdal T.

Tkachenko V.

Tsaran F.

Koszalin University of Technology

Koszalin, Poland

Abstract: A methodological approach to enhancing the performance of air conditioning system by matching current changeable climatic conditions with maximum annual refrigeration effect has been proposed. With this a value of optimal design heat load, providing a maximum annular refrigeration capacity generation, is divided into a stable basic heat load part, covered with high performance efficiency of refrigeration machine in nominal mode, and a remained heat load part to cover changeable current heat loads through ambient air precooling, covered with low efficiency performance of refrigeration machine in partial modes, accompanied by energetic losses. The rest booster part of current heat loads needs application of energy conserving for example through using excessive refrigeration capacity accumulated at decreased current heat loads.

One of the most attractive reserves of enhancing the energetic efficiency of air conditioning systems is to provide the performance of refrigeration machines at nominal or closed to nominal heat loads by choosing optimal design heat loads (optimal refrigeration capacities), and their rational distribution matching current changeable climatic conditions to provide maximum annual refrigeration effect.

A goal of investigation is to develop a methodological approach to enhance the performance of air conditioning system by matching current changeable climatic conditions to provide maximum annual refrigeration effect.

The efficiency of air conditioning systems (AC) and their refrigeration machines performance depends on a duration of their operation all the year round and can be estimated by annual amount of refrigeration capacity generation (output). The longer duration of air conditioning system refrigeration machine operation year around, the larger annual refrigeration output generated, and both of them are the results of proper design heat loads selected closer the current heat loads corresponding to changeable climatic conditions.

The annual refrigeration output in ratio value as full annual refrigeration output $\Sigma(Q_0 \cdot \tau)$, kW·h, related to unite of air mass flow rate: $\Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_a$, or $\Sigma(q_0 \cdot \tau)$, kW·h/(kg/s), where Q_0 – refrigeration capacity, kW; τ – time duration, h; G_a – air mass flow rate in air cooler, kg/s, in dependence on design specific refrigeration capacity $q_0 = Q_0 / G_a$, kW/(kg/s), of installed refrigeration machine for temperatures of cooled air $t_{a2} = 10, 15$ and 20 °C and climatic conditions of Nikolaev region, Ukraine, 2015 year, are presented in Fig.1.

As Fig. 1 shows, the annual refrigeration output $\Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_{a(10)}$ for cooling air to $t_{a2} = 10$ °C at specific refrigeration capacity $q_0 = 34$ kW/(kg/s) is evaluated as $\Sigma(q_0 \cdot \tau)_{10} = 60$ MW·h/(kg/s) and achieved with high rates of its summation. The specific refrigeration capacity $q_0 = 34$ kW/(kg/s) is considered as rational one to calculate a full designed refrigeration capacity Q_0 of installed refrigeration machine according to the total air mass flow G_a , kg/s: $Q_0 = G_a \cdot q_0$, kW.

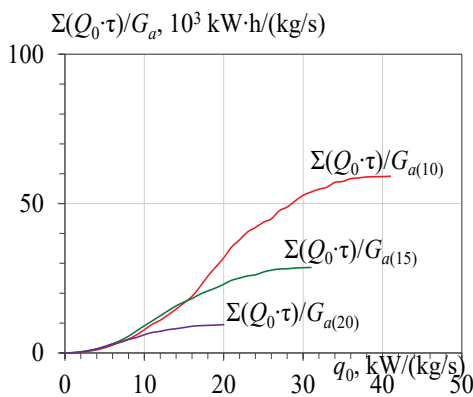


Fig. 1 Annual refrigeration output in ratio values $\Sigma(Q_0 \cdot \tau) / G_a$ against design specific refrigeration capacity $q_0 = Q_0 / G_a$ of refrigeration machine for temperatures of cooled air $t_{a2} = 10, 15$ and 20 °C.

To determine the optimum design heat load, matching current changeable climatic conditions, the values of specific refrigeration capacity $q_{0.15}$ for cooling ambient air from its current temperature t_{amb} to $t_{a2} = 15$ °C and $q_{0.10}$ for cooling ambient air from t_{amb} to $t_{a2} = 10$ °C and specific refrigeration capacity $q_{0.10-15}$ as their difference $q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$ for cooling air from $t_{a2} = 15$ °C to $t_{a2} = 10$ °C are calculated for climatic conditions in Nikolaev region in July 2015 (Fig.2.a).

So, the stable heat load value $q_{0.10-15}$ for cooling of air from $t_{a2} = 15^\circ\text{C}$ to $t_{a2} = 10^\circ\text{C}$ is chosen as design basic stable part $q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$ of the total heat load $q_0 = 34 \text{ kW}/(\text{kg/s})$ and the rest part might be used for precooling the air from t_{amb} to $t_{a2} = 15^\circ\text{C}$ and be determined according to the remained principle as $q_{0.A10} = 34 - q_{0.10-15}$. The total unstable current heat load $q_{0.10}$ for cooling ambient air from the changeable current ambient temperature t_{amb} to $t_{a2} = 10^\circ\text{C}$ can be covered by two stage ambient air cooling: air precooling by using boost specific refrigeration capacity (to cover changeable current heat load) $q_{0.A10}$ and air deep cooling by using basic refrigeration capacity (to cover relatively stable heat load) $q_{0.10-15}$ (Fig. 2.b).

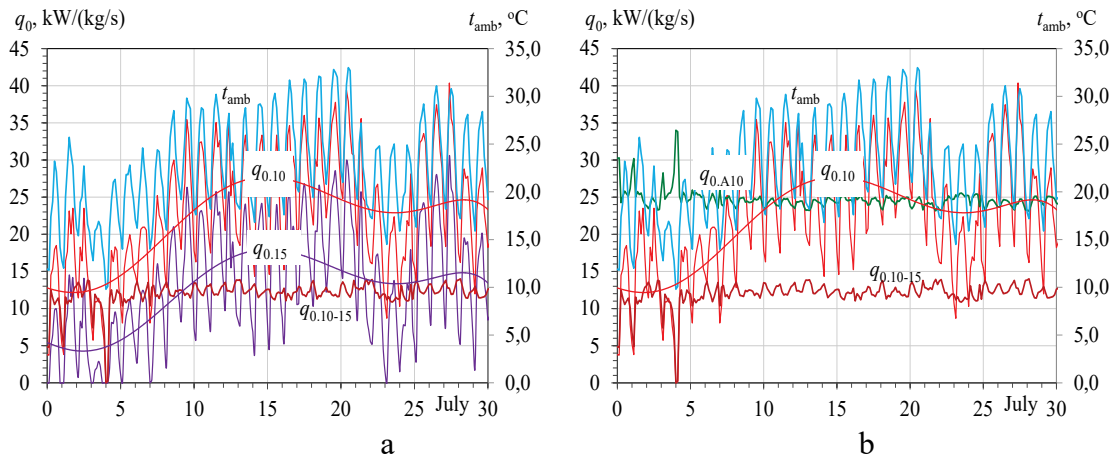


Fig. 2 Current values of ambient air temperature t_{amb} , specific refrigeration capacity $q_{0.15}$ for cooling ambient air from t_{amb} to $t_{a2} = 15^\circ\text{C}$ and $q_{0.10}$ for cooling ambient air from t_{amb} to $t_{a2} = 10^\circ\text{C}$ and specific refrigeration capacity $q_{0.10-15} = q_{0.10} - q_{0.15}$ for cooling air from $t_{a2} = 15^\circ\text{C}$ to $t_{a2} = 10^\circ\text{C}$ (a) and boost specific refrigeration capacity $q_{0.A10} = 34 - q_{0.10-15}$ for cooling ambient air from current temperature t_{amb} to $t_{a2} = 15^\circ\text{C}$ (b) for July 2015.

So, the value of optimum design heat load providing the maximum annular refrigeration capacity generated is shared into a stable basic heat load part covered with high performance efficiency of refrigeration machine in nominal mode and a remained heat load part to cover changeable current heat loads through ambient air precooling covered with low efficiency performance of refrigeration machine in partial modes accompanied by energetic losses or through using excessive refrigeration capacity accumulated at decreased current heat loads.

UDC 621.45.034

CHARACTERISTICS OF A COMBUSTION CHAMBER OF A GAS TURBINE ENGINE OPERATING ON ASSOCIATED GAS

Serhiy Serbin, D. Sc. Tech., Prof.

Kateryna Burunsuz, Cand. Tech. Sc.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

serhiy.serbin@nuos.edu.ua

kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua

Daifen Chen, Ph.D, Prof.

Yang Zongming, Ph.D, Associated Prof.

Jiangsu University of Science and Technology

Zhenjiang, China

dfchen@just.edu.cn

zongmingy@aliyun.com

Annotation. The results of numerical studies of the characteristics of a combustion chamber of a gas turbine engine operating on associated gas are presented. The features of the working process of a combustion chamber with steam injection into the primary and secondary zones are revealed. The presented results show that the calculated emission characteristics of a combustion chamber operating on associated gas correspond to the requirements for modern gas turbine engines.

Keywords: gas turbine; combustion chamber; steam injection.

It is known that to increase the specific power of a gas turbine plant and reduce emissions of toxic components, an approach related to the supply of steam to a combustion chamber can be used. This steam is generated in the recovery steam generator by the heat of the waste gases. Moreover, at present, there are schemes of gas turbine aggregates with the release of excess water vapor after the engine into the atmosphere or with the capture of moisture, its condensation and return to the cycle of the gas turbine aggregate [1-3].

One of the possible areas of application of the cycle of a gas turbine aggregate with steam injection is FPSO (Floating Production Storage and Offloading) vessels. FPSO has become a major source of oil and gas production from lucrative transmission and reuse sources.

During the operation of the FPSO, it can operate on the so-called associated gas, the chemical composition of which varies widely depending on the characteristics of the field [4].

To increase the range of stable operation of a combustion chamber of a gas turbine aggregate using associated gas, it is proposed to use diffusion combustion technology, which assumes separate supply of fuel and oxidizer to the primary burning zone. When gaseous fuel is supplied through the nozzles, the local excess air coefficients in combustion chambers change

significantly, which increases the likelihood of stable ignition of individual hearth of flame and its propagation in the volume of a combustion chamber.

The purpose of this study is to determine the characteristics of the working process of a combustion chamber of a 32 MW gas turbine engine operating on associated gas.

For this, the corresponding three-dimensional CFD calculations of the parameters of a combustion chamber of a gas turbine engine were carried out according to the algorithms detailed in the works [5-8].

Figure 1 shows the distribution of the main toxic components, namely carbon oxides CO and nitrogen oxides NO over the sections of a gas turbine combustion chamber operating on associated gas for various ratios of the ecological and power steam flow rates.

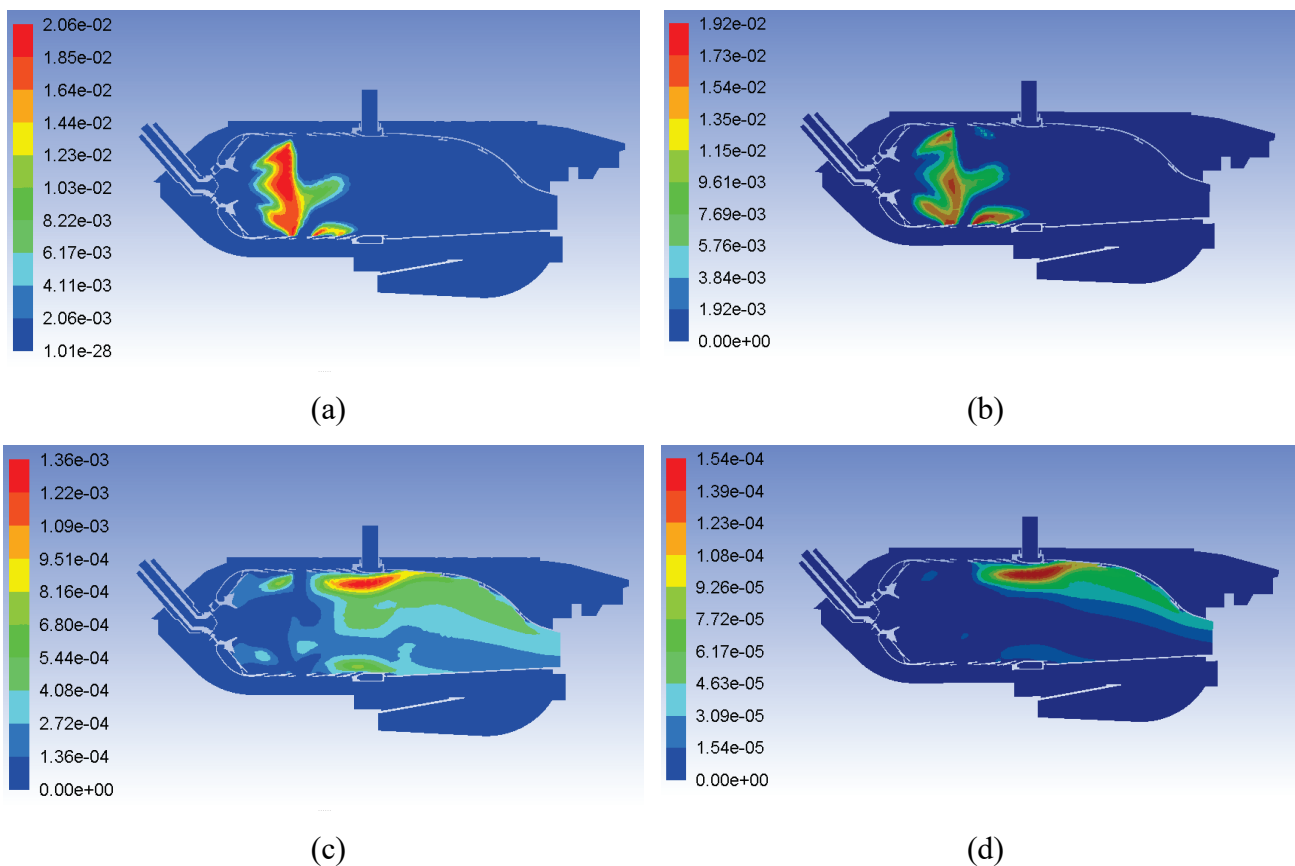


Fig. 1 Contours of mass fraction of CO (a, b), and NO (c, d) for different ratios of ecological and power steam flow rates: 0.212 (a, c) and 1.222 (b, d).

Note that ecological steam is understood as a part of the steam that is supplied to the primary zone of a combustion chamber to reduce nitrogen oxide emissions, and power steam is a part of the steam that is supplied to the secondary zone of a chamber to boost the power and increase the efficiency of the gas turbine aggregate.

It is seen that an increase in the ratio of ecological and power steam leads to a significant decrease in the concentration of nitrogen oxides and has little effect on the concentration of carbon oxides.

Conclusions. 1. Three-dimensional CFD calculations of the parameters of the working process of a combustion chamber of a gas turbine engine operating on associated gas have been carried out. 2. With a ratio of the flow rates of ecological and power steam of 1.222, the emission of nitrogen oxides at the outlet of a combustion chamber do not exceed 25 ppm, which corresponds to modern requirements for the environmental parameters of gas turbine engines.

References:

1. Cheng, D.Y., Nelson, A.L.C. (2002). The chronological development of the Cheng cycle steam injected gas turbine during the past 25 years. *Proceeding of ASME Turbo Expo 2002*, Amsterdam, the Netherlands. GT-2002-30119, 1-8.
2. Bondin, Y.N., Krivutsa, V.A., Movchan, S.N., Romanov, V.I., Kolomeev, V.N., Shevtsov, A.P. (2004). Operation experience of a gas turbine unit GPU-16K with steam injection. *Gas Turbine Technologies*. 5:18-20 (in Russian).
3. Serbin, S., Burunsuz, K. (2020). Numerical study of the parameters of a gas turbine combustion chamber with steam injection operating on distillate fuel. *International Journal of Turbo and Jet Engines*. Available from: <https://doi.org/10.1515/tjeng-2020-0029>.
4. Cherednichenko, O., Serbin, S., Dzida, M. (2019). Application of thermo-chemical technologies for conversion of associated gas in diesel-gas turbine installations for oil and gas floating units. *Polish Maritime Research*. 3(103):181-187.
5. Launder, B.E., Spalding, D.B. (1972). *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London: Academic Press.
6. Serbin, S.I., Matveev, I.B. (2010). Theoretical and experimental investigations of the plasma-assisted combustion and reformation system. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 38(12):3306-3312.
7. Matveev, I., Serbin, S., Mostipanencko, A. (2007). Numerical optimization of the “Tornado” combustor aerodynamic parameters. *Collection of Technical Papers - 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Reno, Nevada, AIAA 2007-391. Vol. 7, 4744–4755.
8. Matveev, I.B., Serbin, S.I., Vilkul, V.V., Goncharova, N.A. (2015). Synthesis Gas Afterburner Based on an Injector Type Plasma-Assisted Combustion System. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 43(12): 3974-3978.

ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА, ЩО ПРАЦЮЄ НА ПОПУТНОМУ ГАЗІ

Сербін С. І., Бурунсуз К. С.,

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна,

Чен Д., Зонгмінг Я.

Університет науки і технології Цзянсу, КНР

Анотація: Наведено результати числових досліджень характеристик камери згоряння газотурбінного двигуна, що працює на попутному газі. Виявлено особливості робочого процесу камери згоряння з впорскуванням пари в первинну і вторинну зони. Представлені результати показують, що розрахункові характеристики викидів камери згоряння, що працює на попутному газі, відповідають вимогам, що пред'являються до сучасних газотурбінних двигунів.

Ключові слова: газова турбіна; камера згоряння; впорскування пари.

УДК 629.5

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КРУИЗНОГО СУДНА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Гершаник В. И.

*д-р техн. наук, проф. университета Адама Смиты,
EurEng, CEng, CMarEng, FRINA, FIMarEST
Senior Project Engineer, MV WERFTEN Wismar GmbH
Wismar, Germany,
vlad.gershanik@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрены особенности работы морского круизного судна, влияющие на его экологические показатели. Приведены результаты математического моделирования топливопотребления и выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ, выполненного применительно к реальному эксплуатационному профилю. Дана оценка воздействия рассмотренного судна на окружающую среду по сравнению с другими видами пассажирского транспорта.

Ключевые слова: морское круизное судно, загрязнение воздуха, использование альтернативных топлив

Одной из актуальных задач судовой энергетики является обеспечение экологически безопасной эксплуатации морского транспорта, в частности круизных судов, которые нередко ходят вдоль густонаселенных побережий и часто посещают порты крупных городов.

В этой связи представляет определенный интерес создание математической модели для оценки воздействия круизных судов на окружающую среду. Она может быть использована не только на этапе проектирования, но также позволит оптимизировать режимы работы судна в процессе эксплуатации с целью минимизации расходов топлива и, соответственно, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что отвечает требованиям ИМО Tier III и стратегии декарбонизации ИМО 2030/2050. Это позволит разработать "систему поддержки принятия решений с нулевым уровнем выбросов" в качестве вклада в достижение целей по снижению потребления топлива на 55% в 2030 году.

Существенной эксплуатационной особенностью большинства круизных судов является необходимость строго придерживаться установленного расписания движения между портами захода, что предопределяет эффективное взаимодействие всех звеньев

сложной логистической системы, обеспечивающей своевременную доставку снабжения, бункеровку, плановый ремонт и техническое обслуживание в портах, трансфер пассажиров и т.д.

При этом для каждой части рейса (перехода между портами захода) четко предопределен плановый маршрут (координаты точек отправления, прибытия и промежуточных путевых точек) и плановое время прибытия в пункт назначения, что однозначно определяет расстояние, которое необходимо преодолеть, необходимую среднюю скорость судна, а также время перехода.

На практике трудно добиться точного соблюдения расписания. В основном это связано со сложностью учета неблагоприятного воздействия на судно погодных условий (состояние моря, скорость и направление ветра и поверхностных течений, температура воды и воздуха и т.д.), которые стохастичны по своей природе и могут динамически изменяться в течение рейса. Дополнительную неопределенность также создают возможные изменения технического состояния судна и его характеристик во время эксплуатации (неисправности механизмов, коррозия и обрастание подводной части и т.д.).

По этой причине важно иметь возможность оперативно получать информацию о фактической и прогнозируемой погоде по маршруту плавания и учитывать эти данные при оценке скорости, достижимой в сложившейся гидрометеорологической обстановке при различной загрузке главных двигателей (ГД). Наличие такой информации позволяет оптимизировать режим их работы во время рейса, тем самым минимизируя расход топлива при сохранении требуемой средней скорости судна.

В качестве примера рассмотрено морское круизное судно (88000 GT), рассчитанное на 4000 пассажиров и 940 членов экипажа. Оно оснащено дизель-электрической энергетической установкой, включающей главные двухтопливные (LNG/MGO) двигатели Wärtsilä 12V46DF (4×13740 кВт), работающие на два азипода (2×15000 кВт), которые обеспечивают судну проектную скорость хода 21 уз. Имеется система селективного каталитического восстановления (SCR) оксидов азота. инсинераторы, а также 2 вспомогательных (двухтопливных) и 4 утилизационных парогенератора.

Расчеты топливопотребления и выбросов в атмосферу выполнялись применительно к типичному эксплуатационному профилю круизного судна, включающему работу в Средиземноморском и Карибском бассейнах (рис.1). В каждом из них за полгода обычно выполняется по 21 рейсу (12 недельных и 9 полуторанедельных). При моделировании предусматривалась возможность варьирования конфигурации работающего оборудования, степени его загрузки и вида топлива на различных отрезках рейса.

Med A						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	3	1	12,7
1	день в море			24		305
2	Портоферрай/о.Эльба	Италия	11	11	2	10,0
3	Специя	Италия	10	12	2	14,7
4	Тулон	Франция	9	13	2	19,1
5	Таррагона(Барселона)	Испания	11	11	2	11,1
6	Валенсия	Испания	11	11	2	14,1
7	Пальма-де-Майорка	Испания		7	1	14,1
						107
Med B						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	3	1	17,3
1	день в море			24		416
2	Валлетта	Мальта	8	14	2	18,9
3	Палермо/о.Сицилия	Италия	10	12	2	15,3
4	Неаполь	Италия	11	11	2	15,7
5	Чивитавекья (Рим)	Италия	12	10	2	14,0
6	день в море			24		335
7	Пальма-де-Майорка	Испания		7	1	14,0
						106
Med C						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	3	1	13,7
1	день в море			24		329
2	Танжер	Марокко	10	12	2	20,6
3	Лиссабон	Португалия	8	14	2	19,2
4	Кадис	Испания	14	9	1	19,2
5	Кадис + Гибралтар	Испания	13	8	3	14,6
6	день в море			24		350
7	Пальма-де-Майорка	Испания		7	1	14,6
						110
Med D						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	2	1	17,3
1	день в море			24		416
2	Валлетта	Мальта	8	14	2	20,4
3	Катаколон	Греция	6	16	2	16,4
4	Бухта Суда/о.Крит	Греция	8	14	2	15,4
5	Родос	Греция	10	12	2	10,0
6	Тира (Санторини)	Греция	5	17	2	16,4
7	день в море			24		395
8	Палермо/о.Сицилия	Италия	8	14	2	15,4
9	Кальяри/о.Сардиния	Италия	10	12	2	10,0
10	день в море			24		239
11	Пальма-де-Майорка	Испания		8	1	10,0
						88
Med E						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	3	1	17,6
1	день в море			24		422
2	Мессина/о.Сицилия	Италия	10	12	2	15,9
3	Неаполь	Италия	9	13	2	16,9
4	Аяччо/о.Корсика	Франция	7	15	2	13,6
5	Генуя	Италия	10	12	2	14,8
6	Тулон	Франция	9	13	2	17,7
7	Таррагона(Барселона)	Испания	10	12	2	10,2
8	Валенсия	Испания	10	12	2	13,9
9	Картахена	Испания	8	14	2	18,8
10	Пальма-де-Майорка	Испания		7	1	18,8
						140
Med F						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Пальма-де-Майорка	Испания	12	3	1	15,3
1	день в море			24		366
2	Кадис	Испания	10	12	2	18,8
3	Лиссабон	Португалия	10	12	2	15,0
4	Порт Лейшоэс	Португалия	10	12	2	13,7
5	день в море			24		330
6	Касабланка	Марокко	11	11	2	13,8
7	Гибралтар	Гибралтар	7	15	2	10,0
8	день в море			24		205
9	Аликанте	Испания	11	11	2	16,6
10	Пальма-де-Майорка	Испания		7	1	16,6
						124
Carib A						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	10,1
1	день в море			24		243
2	Ораньестад	Аруба	9	13	2	10,0
3	Виллемстад	Кюрасао	9	13	2	10,0
4	Кралендейк	Бонайре	9	13	2	14,4
5	день в море			24		345
6	Сан-Хуан	Пуэрто-Рико	12	10	2	18,8
7	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	18,8
						140
Carib B						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	17,4
1	день в море			24		417
2	Сент-Джорджес	Гренада	9	13	2	10,0
3	Кастри	Сент-Люсия	9	13	2	10,0
4	Розо	Доминика	9	13	2	10,0
5	Сент-Джонс	Антигуа	9	13	2	14,0
6	Тортола	BVO	6	16	2	20,0
7	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	20,0
						148
Carib C						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	18,8
1	день в море			24		451
2	Порт-оф-Спейн	Тринидад	8	14	2	15,4
3	Бриджтаун	Барбадос	9	13	2	16,9
4	Пуэнт-а-Питр	Гваделупа	9	13	2	13,5
5	Филипсбург	Ст.-Мартен	15	8	1	13,5
6	Филипсбург	Ст.-Мартен	8	15	1	18,2
7	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	18,2
						135
Carib D						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	18,6
1	день в море			24		446
2	Джорджтаун	Б. Кайман	8	14	2	14,6
3	Сьенфуэгос	Куба	14	9	1	14,6
4	Сьенфуэгос	Куба	8	15	1	17,8
5	Косумель	Мексика	12	10	2	10,0
6	Коста-Майя	Мексика	8	14	2	10,0
7	Белиз	Белиз	9	13	2	16,4
8	день в море			24		394
9	Монтего-Бэй	Ямайка	9	13	2	13,9
10	день в море			24		334
11	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	13,9
						105
Carib E						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	10,1
1	день в море			24		243
2	Ораньестад	Аруба	9	13	2	10,0
3	Виллемстад	Кюрасао	13	9	2	15,0
4	день в море			24		359
5	Скарборо	Тобаго	9	13	2	10,5
6	Бриджтаун	Барбадос	9	13	2	13,2
7	Розо	Доминика	9	13	2	10,8
8	Бастер	Сент-Китс	9	13	2	10,8
9	Тортола	BVO	6	16	2	20,0
10	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	20,0
						148
Carib F						
День	Порт	Страна	Время, ч			Пройденное расстояние, мили
			у причала	в море	маневры	
0	Санто-Доминго	Дом. Респ.	12	3	1	18,6
1	день в море			24		446
2	Джорджтаун	Б. Кайман	8	14	2	10,0
3	день в море			24		221
4	Косумель	Мексика	13	9	2	10,0
5	Коста-Майя	Мексика	8	14	2	10,0
6	Белиз	Белиз	9	13	2	10,0
7	Макогани Бэй	Гондурас	9	13	2	14,1
8	день в море			24		339
9	Монтего-Бэй	Ямайка	9	13	2	13,9
10	день в море			24		334
11	Санто-Доминго	Дом. Респ.		7	1	13,9
						105

Рис. 1. Типичный эксплуатационный профиль круизного судна

При сравнении использования различных топлив были рассмотрены следующие типы выбросов в атмосферу: оксиды серы (SO_x), двуокись углерода (CO_2), оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO), неметановые летучие органические соединения (NMVOCs), твердые частицы (PM) и метан (CH_4). Характеризующие их значения удельных показателей (кг/т топлива, г/МДж, г/кВт·ч), которые применялись в расчетах, были заимствованы из следующих основных источников информации:

- для дизельных двигателей, использующих в качестве основного топлива морской газойль (MGO) [1] и сжиженный природный газ (LNG) [2];

- для вспомогательных парогенераторов [3].

Помимо вышеуказанных источников, при оценке отдельных видов выбросов учитывалась и другая информация, а именно: CO₂ [4], CO [5], NMVOCs [1], PM [1] и CH₄ [6].

Результаты вычислений среднегодовых выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ представлены на рис. 2.

Рейсы	Сжиженный природный газ (LNG)							Малосернистый газойль (MGO) с использованием SCR						
	NO _x	CO	CO ₂	NMVOCs	PM	SO _x	CH ₄	NO _x	CO	CO ₂	NMVOCs	PM	SO _x	CH ₄
Med A	19,2	20,3	4866,0	4,2	0,38	0,38	75,5	18,2	28,9	7468,9	7,7	5,2	44,1	0,174
Med B	22,9	24,3	5805,5	5,1	0,45	0,46	90,1	22,3	29,5	8488,8	8,3	5,5	52,2	0,156
Med C	23,3	24,7	5907,0	5,2	0,46	0,46	91,7	22,7	30,5	8724,9	8,5	5,7	53,4	0,165
Med D	27,2	28,8	6884,5	6,0	0,53	0,54	106,8	26,6	33,3	9891,3	9,5	6,2	61,9	0,162
Med E	24,2	25,6	6127,7	5,3	0,48	0,48	95,1	23,3	33,0	9075,3	9,1	6,0	55,2	0,180
Med F	22,1	23,3	5587,5	4,9	0,43	0,44	86,7	21,3	29,6	8283,8	8,2	5,5	50,4	0,163
Carib A	19,4	20,5	4909,5	4,3	0,38	0,39	76,2	18,4	28,4	7502,6	7,7	5,2	44,4	0,172
Carib B	22,3	23,6	5655,3	4,9	0,44	0,44	87,8	21,5	30,6	8399,1	8,4	5,6	50,9	0,169
Carib C	23,7	25,1	5999,9	5,2	0,47	0,47	93,1	22,9	31,3	8875,0	8,7	5,8	54,1	0,173
Carib D	26,3	27,8	6647,1	5,8	0,52	0,52	103,2	25,6	33,9	9766,8	9,5	6,3	59,9	0,182
Carib E	21,6	22,8	5462,7	4,8	0,42	0,43	84,8	20,7	30,1	8163,4	8,2	5,5	49,2	0,170
Carib F	24,2	25,6	6124,3	5,3	0,47	0,48	95,0	23,4	31,0	8921,0	8,7	5,8	54,8	0,165
Ср. годовые	276,5 т	292,4 т	69977,1 т	61,1 т	5,4 т	5,5 т	1085,8 т	266,9 т	370,2 т	103560,8 т	102,4 т	68,2 т	630,6 т	2,0 т

Рис. 2. Среднегодовые выбросы в атмосферу различных загрязняющих веществ

Разработанная математическая модель может применяться для прогнозирования потребления топлива и выбросов в течение рейса/жизненного цикла судна, а также для мониторинга и минимизации энергопотребления основными подсистемами судна в процессе эксплуатации. Она позволяет оценить достижимое снижение выбросов путем выбора оптимальных проектных параметров/конфигураций судовой энергетической установки, а также открывает возможности для оценки воздействия круизных судов на окружающую среду по сравнению с другими видами пассажирского транспорта.

В качестве примера, ниже приведены результаты такого сравнения, применительно к рассмотренному морскому круизному судну.

Удельные выбросы пассажирских транспортных средств, [г/пасс. -км]

Транспортное средство	NO _x	CO	CO ₂	NMVOCs	PM	SO _x	CH ₄
Легковой автомобиль (бензин)	0,108	1,40	90	0,185	0,001	0,000	0,016
Легковой автомобиль (дизель)	0,459	0,07	85	0,016	0,018	0,001	0,001
Автобус	0,511	0,15	68	0,019	0,009	0,000	0,003
Самолет	0,109	0,32	285	0,026	0,000	0,000	0,000
Пассажирский поезд	0,058	0,02	14	0,005	0,002	0,004	0,001
Речное судно	5,870	2,07	245	0,686	0,305	3,102	0,023
Морское круизное судно:							
- MGO	2,518	0,52	147	0,145	0,096	0,892	0,003
- MGO+SCR	0,378	0,52	147	0,145	0,096	0,892	0,003
- LNG	0,391	0,41	99	0,086	0,008	0,008	1,536

Согласно расчетным оценкам, переход с MGO на LNG сопровождается сокращением выбросов CO₂ в 103560,8/69977,1=1,48 раза. Однако при этом появляется так-называемое «метановое скольжение». Это метан, который в результате неполноты сгорания в двигателях, а также утечек из танков и элементов топливной системы выходит в атмосферу.

К сожалению, 100-летний потенциал глобального потепления CH_4 в 30 раз выше, чем у CO_2 [8]. Посему, в пересчете на эквивалент диоксида углерода, годовые выбросы парниковых газов составляют $69977,1 + 30 \times 1085,8 = 102551,1$ т. Соответственно, экологический эффект от перехода с MGO на LNG оценивается в 9,8 %, что не обеспечивает сокращение выбросов, требуемое стратегией IMO по парниковым газам и предопределяет переход на низкоуглеродные и безуглеродные виды топлива в будущем.

Література:

1. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>
2. GHG and NOx emissions from gas fuelled engines. SINTEF Ocean AS Report No. OC2017 F-108, dated 13.06.2017. <https://www.nho.no/siteassets/nox-fondet/rapporter/2018/methane-slip-from-gas-engines-mainreport-1492296.pdf>
3. Emissions Estimation Methodology for Ocean-Going Vessels. California Air Resources Board. May 2008. <https://ww3.arb.ca.gov/regact/2008/fuelogv08/appdfuel.pdf>
4. Carbon Dioxide Emissions Coefficients by Fuel. U.S. Energy Information Administration. https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
5. Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. Final Report. Entec UK Limited, July 2002. https://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/chapter3_end_ship_emissions.pdf
6. 2 nd Life Cycle GHG Emission Study on the Use of LNG as Marine Fuel. <https://sphera.com/research/2nd-life-cycle-ghg-emission-study-on-the-use-of-lng-as-marine-fuel/#:~:text=ReadResearch-,2nd%20Life%20Cycle%20GHG%20Emission%20Study%20on,of%20LNG%20as%20Marine%20Fuel&text=The%20study%20reconfirmed%20that%20greenhouse,from%20Well%2Dto%2DWake>
7. Focusing on environmental pressures from long-distance transport. TERM 2014. EEA Report No. 7/2914. <https://www.eea.europa.eu/publications/term-report-2014>
8. ISO 14067:2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification. <https://www.iso.org/standard/71206.html>

ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF A CRUISE SHIP EVALUATION

Gershanik V. I.

MV WERFTEN Wismar GmbH

Abstract. The features of a seagoing cruise ship operation influencing her environmental footprint are considered. The results of fuel consumption and emissions of various pollutants simulation are given, taking into account the real operational profile. The impact of the considered ship on the environment in comparison to other types of passenger transport is evaluated.

Keywords. Seagoing cruise ship, air pollution, use of alternative fuels

УДК 621.436:629.128.6:656.6

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСА ЗА ДАНИМИ СИСТЕМ DEPAS ТА IMES. ДІАГНОСТИКА ЦИЛІНДРОВОГО ЗМАЩУВАННЯ

Варбанець Р. А.

Кирица В. І.

Холденко В. І.

Александровська Н. І.

кафедра суднових енергетичних установок і технічної експлуатації

Одеського національного морського університету

м. Одеса, Україна

roman.Varbanets@gmail.com

kirnacs Vlad@gmail.com

kholdenko188@gmail.com

a.nadegda@gmail.com

Анотація. Дани результати моделювання в середовищі Blitz-PRO з накладанням вібродіаграмм, отриманих системою Depas, які дають додаткову інформацію з більш детальною діагностикою суднових дизелів за допомогою віброакустичного датчика.

Ключові слова: моделювання робочого процесу, віброакустична діагностика

Наведено приклади визначення несправностей за допомогою віброакустичного датчика, таких як: дефекти паливних форсунок, паливних насосів, клапанів, втрата компресії в циліндрах, дефекти масляних форсунок системи циліндрового мастила.

Розглянуто результати діагностики двох систем: DEPAS і EPM-XP (IMES GmbH).

Були представлені наступні результати:

- нормальний стан паливної апаратури і механізму газорозподілу;
- пізній впорск палива;
- ранній впорск палива;
- дрібний впорск палива, характерний для дефектної форсунки, або для зниженого тиску з боку паливного насоса високого тиску;
- зміщення фази закриття впускного клапана;
- протікання випускних клапанів;
- нестабільна робота паливної апаратури на часткових режимах роботи двигуна;

Також розглянуто подробиці роботи системи циліндрового мастила. Розглянуто вібродіаграми нормальної і ненормальної роботи масляних форсунок.

В результаті, робота систем моніторингу робочого процесу суднових дизелів доповнена діагностикою форсунок циліндрового мастила і тепер включає:

- діагностику ЦПП;
- діагностику паливної апаратури високого тиску;

- діагностику механізму газорозподілу;
- діагностику роботи системи циліндрового мастила.

Комплексне діагностування циліндрів суднових дизелів підвищує ефективність їх експлуатації, знижує експлуатаційні витрати і, головне, - знижує ризик виникнення аварійних ситуацій в морі.

Література:

1. R.A. Varbanets, S. A. Karianskiy. Analyse of marine diesel engine performance. Journal of Polish CIMAC, Gdansk pp. 269–275, 2012.
2. S. Neumann, R. Varbanets, O. Kyrylash, et al. Marine diesels working cycle monitoring on the base of IMES GmbH pressure sensors data. Diagnostyka 20(2):19–26, 2019. doi:10.29354/diag/104516.
3. R. A. Varbanets, V. I. Zalozh, A. V. Shakhov, et al. Determination of top dead centre location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. Diagnostyka 21(1):51–60, 2020. doi:10.29354/diag/116585.
4. D.S. Minchev. Blitz-pro. user's manual. [2018], <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index>.

WORKING PROCESS SIMULATION ACCORDING TO DEPAS AND IMES GMBH DATA. DIAGNOSIS OF THE CYLINDER LUBRICATION SYSTEM

Varbanets R.A., Kirnats V.I., Holdenko V.I., Aleksandrovskaia N.I.
Department of Ship Power Plants and Technical Operation
Odessa National Maritime University
Odessa, Ukraine

Abstract. The results of modeling in the Blitz-PRO environment with the imposition of vibrodiagrams obtained by the Depas system are given, which provide additional information with more detailed diagnostics of marine diesels using a vibroacoustic sensor.

Keywords: working process modeling, vibroacoustic diagnostics

УДК 629.5

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ТОПЛИВА И ВЫБРОСОВ НА СОВРЕМЕННЫЙ РЫНОК СУДОСТРОЕНИЯ И ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

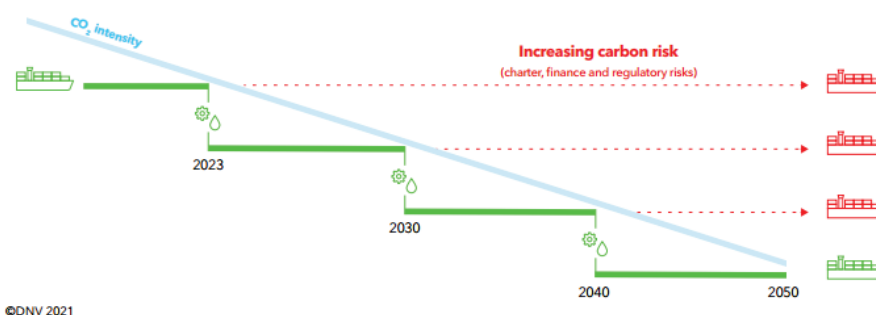
Нікончук С. В.*заст. директора з маркетингу**ТОВ «Залив Шін Дизайн»**м. Миколаїв, Україна**sergii.nikonchuk@zalivdesign.com*

Анотація. Динамика энергетической трансформации в мире влияет на все области, в том числе, на морскую отрасль, что заставляет производителей СЭУ искать новые решения по декарбонизации топлива и выбросов. Это в свою очередь ставит новые задачи по проектированию и эксплуатации судов перед специалистами отрасли. Рассмотрено влияние данных изменений на процесс подготовки молодых специалистов.

Ключові слова: энергетическая трансформация, декарбонизация морского топлива и выбросов.

В связи с требованиями ИМО по уменьшению вредных выбросов, которые постепенно будут всё более ужесточаться, мы сталкиваемся со значительными изменениями в эксплуатации и проектировании судов.

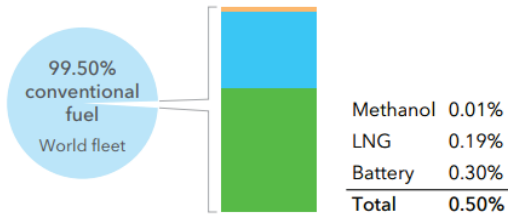
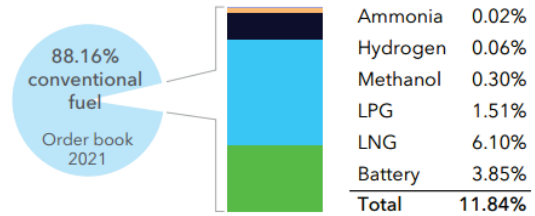
FIGURE 1

The decarbonization stairway and potential exposure to carbon risk

Всё больший процент альтернативных видов топлива занимают в доле новых заказов.

Несмотря на значительную долю LNG-топлива, среди прочих альтернативных решений, это выглядит временным решением, согласно заявлениям топ-менеджеров таких компаний как Shell. В тоже время эксперты отмечают, что на данный момент нет решения, которое бы удовлетворило рынок. Т.к. каждое решение: ammonia, Hydrogen, Methanol, LPG, LNG, biofuels, battery – имеет техническое или коммерческое ограничение.

FIGURE 3.2

Uptake of alternative fuels for the world fleet as of June 2021 including ships in operation and on order ^a**Alternative fuel uptake (percentage of ships)****Ships in operation****Ships on order**

Key: Liquefied natural gas (LNG); liquefied petroleum gas (LPG)

a) Sources: IHSMarkit (ihsmarkit.com) and DNV's Alternative Fuels Insights for the shipping industry - AFI platform (afi.dnv.com)

©DNV 2021

Возникает логичный вопрос к чему готовить молодых специалистов в эпоху трансформации и неопределённости. Я считаю, что в данный момент будет целесообразно сконцентрироваться на эксплуатации и выборе для конкретного судна при проектировании “dual-fueled” двигателя. ДВС производят и проектируют несколько глобальных компаний, поэтому нужно сконцентрировать усилия на подготовке специалистов по проектированию судовых (и не только судовых) систем., что сейчас актуально на современном рынке труда.

Література:

1. DNV_Maritime_Forecast_2050_2021-Web.pdf : www.dnv.com 81 с.
2. <https://www.offshore-energy.biz/shells-shipping-study-confirms-lng-as-transition-fuel/>

INFLUENCE OF THE PROCESS OF DECARBONIZATION OF FUEL AND EMISSIONS ON THE MODERN SHIPBUILDING MARKET AND EDUCATION PROCESS OF YOUNG ENGINEERS

Sergii Nikonchuk

Zaliv Ship Design LLC

Abstract. The dynamics of energy transition in the world affects all areas, including the maritime industry. What makes the manufacturers of marine power plants look for new solutions for decarbonization of fuels and emissions. This, in turn, sets new tasks for the design and operation of ships for the industry professionals. Influence of mentioned changes on educational process of young engineers.

Key words: energy transition, decarbonization of marine fuels and emissions

АДАПТАЦІЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МОРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ

Чередніченко О. К.

доктор технічних наук,

*професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

oleksandr.cherednichenko@nuos.edu.ua

Анотація. Визначено сучасні тенденції аналізу та синтезу складних технічних систем, виявлено перспективу використання об'єктно-орієнтованих підходів при розв'язанні питань підвищення ефективності використання паливних ресурсів та зменшення викидів токсичних компонентів шляхом раціональної організації перетворень енергії в суднових енергетичних установках.

Ключові слова: суднова енергетична установка, математичне моделювання, системний аналіз

Забезпечення стійкості світової економіки формує стабільний попит на нафту і газ. У той же час спостерігається зниження кількості перспективних материкових родовищ. Освоєння родовищ континентального шельфу створює основу забезпечення світової економіки вуглеводневою сировиною на тривалу перспективу. Для експлуатації шельфових родовищ створено великий і різноманітний флот офшорних суден [1]: обслуговуючі офшорні судна (Offshore Service Vessels – OSV), мобільні офшорні бурові об'єкти (Mobile Offshore Drilling Units – MODU), плавучі виробничі об'єкти та об'єкти зберігання і перевантаження (Floating Production Units and Storage Units – FPUSU). Ефективне функціонування логістичного ланцюжка «шельфовий видобуток – транспортування – газопостачання» неможливе без транспортування зрідженого газу (LNG та LPG) суднами – газовозами (рис.1).

Експлуатація офшорного флоту найчастіше здійснюється в зонах прибережного мореплавства, затоках, внутрішніх морях. У цих районах вимоги ІМО з енергоефективності контролюються дуже жорстко. Крім того в таких зонах діють і регіональні норми боротьби з забрудненням атмосфери.

Комплексний вплив вимог міжнародних конвенцій з обмеження забруднення навколишнього середовища та необхідність економії вуглеводневих енергоресурсів вимагає від виробників та розробників вдосконалення існуючого енергетичного обладнання або створення принципово нових технічних рішень.

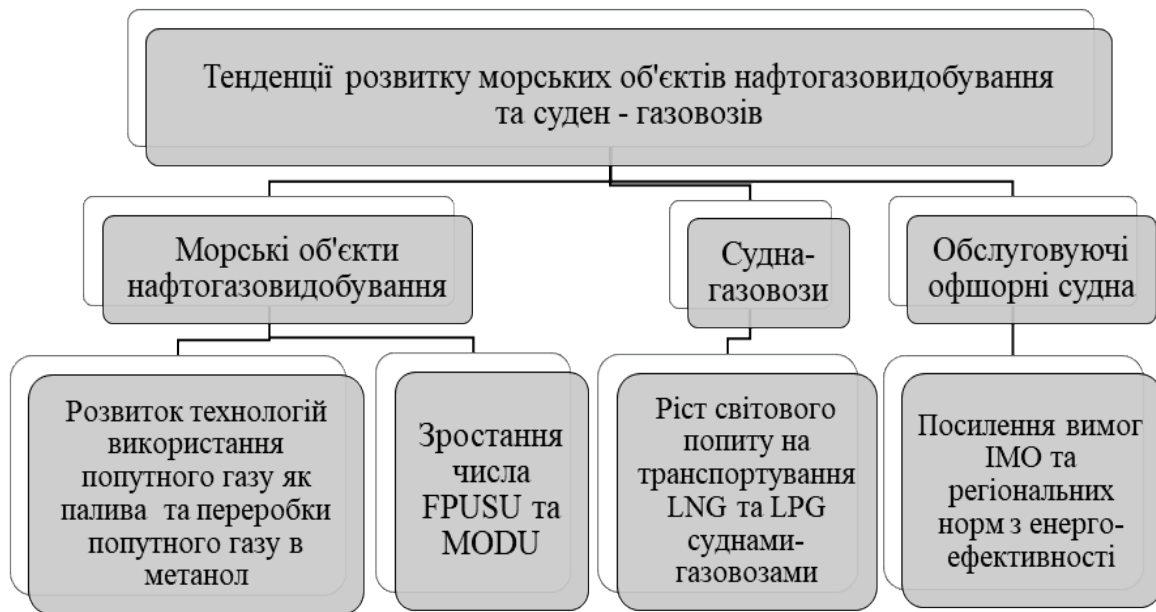


Рис. 1 Тенденції розвитку морських об'єктів нафтогазовидобування та суден газовозів [2]

Енергетична установка (ЕУ) являє собою одну зі складових багаторівневої технічної системи якою є судно або морський об'єкт в цілому [3]. При математичному моделюванні процесів в головних енергетичних установках суден та об'єктів нафтогазовидобування енергетична установка може розглядається як функціональна система, яка призначена для перетворення енергетичного потенціалу базового палива в механічну, теплову і електричну складові. Для суденгазовозів та більшості обслуговуючих офшорних суден потрібна механічна енергія для забезпечення руху при транспортуванні вантажу, але для MODU та FPUSU потрібно вироблення енергії для приводу обладнання технологічних систем видобутку, обробки і відвантаження (наприклад, привід електричних генераторів, компресорів технологічного обладнання та інше). Технологічні процеси вимагають великих витрат енергії та потребують втілення нових технологій в енергетичні комплекси морських об'єктів нафтогазовидобування та енергетичні установки суденгазовозів.

Прийняття рішень при формуванні складу ЕУ та визначенні її характеристик проводиться з урахуванням технічних та економічних обмежень, що накладаються на проєктований об'єкт. У свою чергу, ці обмеження можуть бути пов'язані з сучасним рівнем розвитку техніки і технологій, а також з політичними, соціальними, зовнішньоекономічними та іншими аспектами.

ЕУ може бути досліджена методами математичного моделювання, при цьому багатоваріантність схемних рішень вимагає виявлення взаємозв'язків елементів методами системного аналізу. Виявлено, що комплексне вирішення проблеми підвищення ефективності використання паливних ресурсів та зменшення викидів токсичних компонентів шляхом раціональної організації перетворень енергії потребує адаптації сучасних об'єктно-

орієнтованих підходів до розв'язання задач дослідження суднових енергетичних установок морських об'єктів нафтогазовидобування.

Аналіз наукових публікацій [3] показує, що в середині XX віку системний підхід стосовно складних технічних систем спирався на евристичну базу рішень та так звану «гарну інженерну практику», що звужувало коло пошуку можливих варіантів. Надалі були сформульовані дві групи стратегій проєктування та прийняття рішень – на базі декомпозиції та на базі оптимізації. Кожна з даних стратегій має свої обмеження. Декомпозиція дозволяє отримати детальні схемні рішення, але в недостатній мірі враховує взаємний вплив рішень, які належать до різних структурних рівнів. Стратегії, які засновані на оптимізації, успішно визначають раціональну конфігурацію складної технічної системи, але обмежені простором пошуку рішення і вибором ступеня наближення, які далеко не завжди можуть бути обрані коректне.

Сучасні об'єктно-орієнтовані підходи до вивчення складних технічних систем [4,5] припускають поєднання двох стратегій системного підходу: декомпозиції та інкапсуляції. При розгляді технічних систем найбільш зручною може бути функціональна декомпозиція. Застосування принципу інкапсуляції передбачає виділення енергокомплексу як функціональної сукупності об'єктів, об'єднаних призначенням (цільовою функцією) зі складу більш складної ієрархічної структури (судна або об'єкта нафтогазовидобування). Структура судна, в свою чергу формується сукупністю функціональних систем (наприклад, для FPSO – систем видобутку, виробництва, зберігання і відвантаження вуглеводнів, життєзабезпечення, енергетичної та ін.). Взаємний вплив виділеного фрагмента та функціональних систем більш високого ієрархічного рангу (пропульсивний комплекс, судно тощо), а також зовнішніх функціональних систем того ж самого рівня (наприклад, технологічних систем для FPSO) замінюється масивами значень кількісних або якісних параметрів, а також узагальненим описом.

При створенні математичного опису процесів в складних технічних системах можливі три основні рівні деталізації: концептуальні агрегатні моделі, спрощені розрахункові моделі та докладні точні моделі. Запропонований в даній роботі підхід передбачає модель енергетичної установки, в якій енергомодуль розглядається відокремлено від комплексу систем більш складної ієрархічної структури (судна або об'єкта нафтогазовидобування), елементом яких він є.

З точки зору фізико-хімічних процесів енергетична установка являє собою енерготехнологічний комплекс. Якщо всі процеси (наприклад, утилізація вторинних енергоресурсів шляхом обробки базового палива) у відповідному технологічному обладнанні спрямовані в кінцевому підсумку на зміну (поліпшення) характеристик конкретного

теплогового двигуна (групи двигунів), то цю сукупність двигунів (групи двигунів) і відповідного технологічного устаткування можна розглядати як енергетичний модуль (рис.2).

Об'єктно-орієнтоване моделювання надає інтуїтивно зрозумілий спосіб моделювання складних технічних систем, в якому визначення змінних та опис обмежень для різних елементів структури укладені в відповідні класи об'єктів, організованих в ієрархію. Для енергетичного модуля доцільно розглянути чотири ієрархічних рівня: модуль в цілому, підсистеми модуля, групи блоків обладнання підсистем, блоки обладнання, що входять до групи. Складні підсистеми можуть бути структурно розділені на частини, відповідно до функціонального призначення.

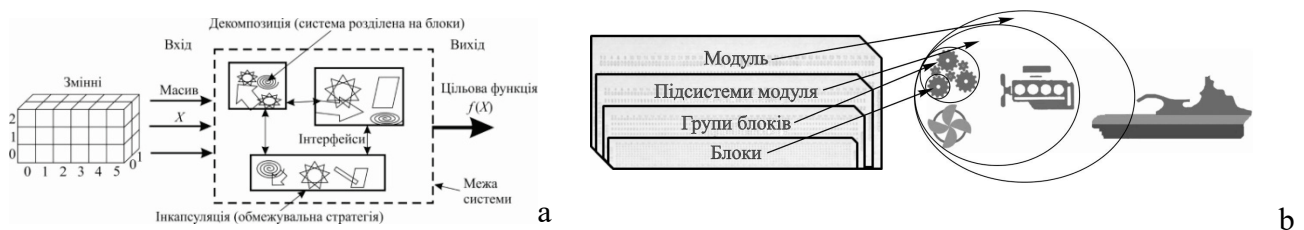


Рис. 2 а декомпозиція та інкапсуляція як стратегії дослідження складних технічних систем;
 б ієрархічні рівні структурної моделі енергетичного модулю

Таким чином, застосування принципів функціональної декомпозиції дозволяє уявити енергетичний модуль з утилізацією вторинних енергоресурсів у вигляді сукупності підсистем.

У свою чергу, кожна підсистема формується як сукупність k блоків (нагнітачі, реактори та ін.) та груп блоків, об'єднаних певною функціональною ознакою (газотурбінний двигун, ДВЗ, утилізаційна установки та ін.).

Математичні моделі блоків та груп блоків, які утворюють математичну модель підсистеми, являють, зазвичай, систему нелінійних алгебраїчних рівнянь. Якщо попередні дослідження звузили область пошуку оптимальних рішень та добре узгоджені з робочим процесом, то можливо одночасне розв'язання всіх рівнянь (Equation Oriented, EO) [6]. Але такий метод не підходить для моделей, в яких відсутні точні оцінки всіх змінних, тобто концептуальних моделей.

В умовах концептуального проектування або дослідження перспектив втілення нових технологій доцільно використовувати модульний підхід (Sequential Modular, SM) [6]. Рівняння для кожного блоку (наприклад, насосу) розв'язуються за допомогою індивідуальних алгоритмів. В такому разі для всіх розрахункових модулів дотримується заздалегідь задана логічна послідовність обчислення. Переваги такого підходу до пошуку раціональних рішень є:

- можливість випробування алгоритмів обчислювання з подальшою верифікацією отриманих результатів окремо для деяких блоків або груп блоків;
- модульна структура дозволяє легко додавати нові блоки та модернізувати існуючі;
- відносна простота та прозорість рішень надає можливість легкої перевірки вихідних даних на відповідність та повноту.

Прикладом реалізації такого підходу є програмне забезпечення для моделювання фізико-хімічних процесів, яке реалізоване у програмному комплексі Aspen Plus [7].

Література:

1. Organisation for Economic Cooperation and Development: OFFSHORE VESSEL, MOBILE OFFSHORE DRILLING UNIT & FLOATING PRODUCTION UNIT MARKET REVIEW. – 2014.
2. Global Marine Technology Trends 2030. Available at : <https://eprints.soton.ac.uk/388628/1/GMTT2030.pdf>. – 01.06.2019.
3. Bakountouzis, L. N. Marine power plants: design methodology and trends / L. N. Bakountouzis // Transactions on the Built Environment. – 1993. – Vol. 1. – P. 85–95.
4. Handling Complexity Aspects in Conceptual Ship Design / H. Gaspar, A. Ross, D. Rhodes, S. Erikstad // Int'l Maritime Design Conf. – Glasgow, 2012.
5. Erikstad, S. A Ship Design and Deployment Model for Non-Transport Vessels / S. Erikstad, S. Solem, K. Fagerholt // Ship Technology Research. – 2011. – Vol. 58, No. 3. – P. 132–141.
6. Integration of different models in the design of chemical processes: Application to the design of a power plant / J. Caballero, M. Navarro, R. Femenia, I. Grossmann // Applied Energy. – 2014. – Vol. 124. – P. 256–273.
7. Haydary, J. Chemical Process Design and Simulation: Aspen Plus and Aspen Hysys Applications. Bratislava : John Wiley & Sons, 2018. – 448 p.

ADAPTATION OF AN OBJECT-ORIENTED APPROACH TO SOLVING PROBLEMS OF RESEARCHING POWER PLANTS OF OFFSHORE OIL AND GAS PRODUCTION FACILITIES

Oleksandr Cherednichenko

Operation of Ship's Power Plants and Heat Power Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract: The methodology and substantiated research methods have been shown. In solving problems of theoretical studies of processes in ship power plants the prospects of use of the object-oriented approaches have been identified. It is proposed to use a modular approach according to four hierarchical levels: the module as a whole, module subsystems, groups of equipment blocks of subsystems, structural and functional

units simulating individual process units with a combination of units in the form of material, energy and heat flows.

Keywords: ship power plant, mathematical simulation, system analysis

УДК 621.4:620.9

ТЕРМОАКУСТИЧНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Коробко В.В.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок
та теплоенергетики*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
volodymyr.korobko@nuos.edu.ua*

Анотація. В роботі розглянуті питання застосування термоакустичних технологій в судновій енергетиці. Термоакустичні системи дозволяють утилізувати низькотемпературні теплові викиди СЕУ, в тому разі кріогенні. Показано, що термоакустичні установки сприяють підвищенню ефективності та екологічності СЕУ.

Ключові слова: суднові енергетичні установки, теплові викиди, утилізація, термоакустика.

Характерною особливістю сучасної суднової енергетики є впровадження нових технічних рішень у відповідності до діючих вимог ІМО відносно зменшення шкідливого впливу СЕУ на довкілля. Основні проблеми пов'язані з обмеженням емісії CO₂, SO_x, NO_x. З урахуванням цих правил на нових судах встановлюються ДВЗ, характеристики яких мають відповідати нормам TIER II та TIER III. Практично всі виробники суднових ДВЗ пропонують моделі, які здатні використовувати кріогенні палива – LNG та LPG [1], а в перспективі передбачено застосування скрапленого аміаку – безвуглецевого палива. У сукупності ці фактори призвели до зменшення температури відходячих газів, зростання температури надувного повітря.

За таких умов, склалась ситуація, коли традиційні схеми утилізації теплових викидів СЕУ стають малоефективними або економічно недоцільними. Крім того, використання скраплених газів в якості пального ставить питання утилізації їх кріогенного потенціалу. Ці обставини вимагають пошуку та розробки нових заходів щодо енергозбереження в судновій енергетиці.

Можливим шляхом вирішення даної задачі може стати використання термоакустичних технологій. Сучасний стан розвитку термоакустики дозволяє створити термоакустичні системи, придатні для утилізації низькотемпературних викидів СЕУ.

Існує два типи термоакустичних теплових машин (ТАТМ), це – термоакустичні двигуни (ТАД) та термоакустичні рефрижератори (ТАР). ТАТМ відрізняються від механічних агрегатів простою конструкцією, відсутністю рухомих частин та шкідливих робочих речовин, їм притаманні висока надійність, відносна мала вартість [2,3]. ТАД здатні працювати від будь яких зовнішніх джерел енергії, в тому разі кріогенних, отже їх доцільно використовувати в системах регазифікації LNG палив. Розповсюдженню ТАТМ заважають їх низька питома потужність, складність отримання механічної роботи, відсутність узагальнюючих положень, що до розробки та проектування низькотемпературних термоакустичних систем.

Маючи за мету підвищення ефективності СЕУ з допомогою термоакустичних технологій, був проведений комплекс теоретичних та експериментальних досліджень особливостей теплофізичних процесів в низькотемпературних ТАТМ.

В результаті досліджень отримані нові знання відносно закономірностей процесів енергообміну між структурними елементами ТАТМ та зовнішніми низькотемпературними джерелами теплової енергії. Встановлені та досліджені фактори, які визначають ефективність процесів послідовного перетворення теплової енергії в механічну енергію акустичних коливань, та їх подальшу трансформацію в механічну роботу або електричну енергію.

На рис. 1 показана принципова схема термоакустичної системи утилізації теплових викидів СЕУ, в який передбачено використання турбогенератора з приводом від імпульсної двонаправленої турбіни (ІДТ) [4...6].

В такий системі процеси енергообміну між джерелами енергії високого потенціалу (теплові викиди СЕУ), ТАД та джерелами енергії низького потенціалу (довкілля, або кріогенні палива) забезпечуються допоміжними системами. До складу цих систем входять рекуперативні теплообмінники: зовнішні, які контактують з теплоносіями скидної енергії та внутрішні, які є конструктивними елементами ТАД.

Використання рекуперативних теплообмінників в низькотемпературних ТАД призводить до суттєвого зниження ефективності термоакустичних перетворень. Причина цього явища – формування рекуперативними теплообмінниками неоднорідного поля температур в поперековому перетині матриці, в єдиному елементі ТАД, в якому безпосередньо відбуваються термоакустичні перетворення.

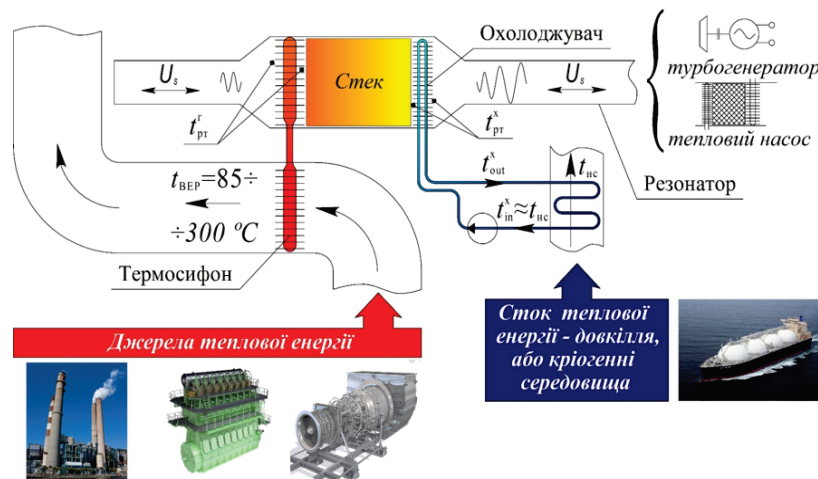


Рис. 1. Принципова схема використання ТАТМ в складі енергетичних установок

Отримані результати дозволили формалізувати базові положення теорії проектування низькотемпературних термоакустичних систем, визначити шляхи раціональної організації процесів тепло – енергообміну між проміжними теплоносіями, робочим тілом ТАД та матрицею, зменшити негативний вплив рекуперативних теплообмінників на ефективність ТАТМ.

Математична модель відтворює структуру СЕУ та функціональні зв'язки в комплексі: «**СЕУ – ТЕПЛОВІ ВИКИДИ – ТАД – ДОВКІЛЛЯ**». Ця модель синтезована на базі балансової моделі СЕУ та модифікованої лінійної моделі термоакустики [4]. Математична модель дає можливість оцінити ефект від застосування термоакустичних систем енергозбереження для різних типів СЕУ

$$Ne_{\text{реж}}^{\text{СЕУ}} = Ne_{\text{реж}}^{\text{ГД}} + Ne_{\text{реж}}^{\text{СЕС}} = Ne_{\text{реж}}^{\text{ГД}} + \sum_i^n (Ne_{i,\text{реж}}^{\text{ДГ}} + Ne_{i,\text{реж}}^{\text{ТАТГ}})$$

Розрахунки показали, що сумарна потужність термоакустичної системи утилізації скидної теплоти $Ne_j^{\text{ТАТМ}}$ на експлуатаційних режимах двигуна може сягати від 5% до 8,3 % потужності МОД W12X92DF. В розглянутому випадку передбачена можливість утилізації криогенного потенціалу скраплених палив. З допомогою розробленої математичної моделі показано, що термоакустична система регазифікації палив здатна продукувати до 1500 кВт електричної енергії за рахунок використання криогенного потенціалу скрапленого газу.

ВИСНОВКИ

1. Енергогенеруючі термоакустичні системи утилізації скидної теплоти розширюють ресурсну базу для енергозбереження за рахунок низькотемпературних складових теплового балансу СЕУ.

2. На основі результатів фізичного та математичного моделювання, з допомогою експериментальних зразків ТАТМ та їх елементів, узагальнюючої математичної моделі

термоакустичної системи використання скидної теплоті СЕУ з потенціалом 110 – 600 К, встановлена неоднорідність поля теплових потоків в елементах ТАТМ, яка характеризується коефіцієнтом неоднорідності на рівні – 0,72 – 0,99 та знижує ефективність процесів термоакустичного перетворення в ТАТМ до рівня 0,1 – 0,25 відносно к.к.д. Карно.

3. Визначені закономірності впливу нерівномірності розподілу температур на поверхні теплообмінників та матриці ТАТМ на ефективність термоакустичних перетворень.

4. Обґрунтовані науково-методологічні основи вдосконалення ТАТМ шляхом підвищення ефективної температури робочого тіла за рахунок раціональної організації процесів тепло-енергообміну між теплоносіями, теплообмінниками, робочим тілом ТАТМ та матрицею.

5. Показана можливість підвищення паливної ефективності СЕУ різної потужності та з різними рівнями енергозбереження за рахунок утилізації низькотемпературних складових теплових викидів для СЕУ з МОД на 5 – 8%, СЕУ з СОД на 6 – 9%, СЕУ з ВОД на 8 – 10%.

Література:

1. Singh, D., & Pedersen, E. A review of waste heat recovery technologies for maritime applications. *Energy Conversion and Management*, 111, 2016. – pp. 315–328. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman>

2. Коробко, В. В. Залежність характеристик термоакустичного двигуна від неоднорідності температури поверхонь теплообмінників / В. В. Коробко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2020. – № 7 (165). – С. 96–102.

3. Дослідження роботи імпульсної двонаправленої турбіни в резонаторі термоакустичного двигуна / В. В. Коробко, О. О. Московко, Г. Б. Мостипаненко, С. І. Сербін // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2017. – № 8 (143). – С. 19–25.

4. Коробко, В. В. Підвищення ефективності енергетичних установок шляхом застосування термоакустичних технологій / В. В. Коробко // *Shipbuilding & Marine Infrastructure*. Судостроение и морская инфраструктура. – Николаев : НУК, 2018. – № 2 (10). – С. 252–261.

THERMOACOUSTIC ENERGY SAVING SYSTEMS OF SHIP ENERGETIC

Korobko Volodymyr

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The application of thermoacoustic technologies in marine energy is considered in the work. Thermoacoustic systems allow to utilize low-temperature thermal emissions of SEU, in that case cryogenic. It is shown that thermoacoustic installations help to increase the efficiency and environmental friendliness of SEU.

Keywords: ship power plants; thermal emissions, energy saving, thermoacoustic.

НАРИСИ З ІСТОРІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ»

Горбов В. М.

*кандидат технічних наук, професор
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
viktor.gorbov@nuos.edu.ua*

Мітенкова В. С.

*кандидат технічних наук
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
vera.mytenkova@nuos.edu.ua*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Наведено аналітичний погляд на історію розвитку конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми». Простежено як змінювався масштаб заходу, перелік організацій та географія учасників. Наведено фотографії з засідань конференцій різних років.

Ключові слова: науково-технічна конференція, суднова енергетика, Національний університет кораблебудування

У 2003 р. 20-21 листопада з ініціативи завідувача кафедрою суднових енергетичних установок (ССЕУ) професора Горбова В.М. на Машинобудівному факультеті УДМТУ була проведена міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів, молодих вчених і молодих фахівців «Сучасні проблеми суднової енергетики». Формат і тематика даного проекту виявилися настільки вдалим, що конференція стала проводитися кафедрою ССЕУ регулярно кожні 2 роки і дуже швидко вийшла за межі Національного університету кораблебудування, міста Миколаєва та України. Географія учасників неухильно розширювалася, починаючи з 2005 р. змінилася назва і всі наступні конференції іменувалися вже «Судова енергетика: стан та проблеми». Доля доповідей провідних вчених і загальна кількість доповідей і учасників в цілому з конференції в конференцію тільки збільшувалася. Безумовно, на сьогоднішній день це найбільш авторитетний і відомий науковий захід в області суднової енергетики в Україні.

Нижче представлено стислий огляд проведених конференцій з фотографіями (на підписах до фото дані про посади, вчені ступені і звання учасників представлено на час відповідної конференції), актуальні назви підприємств наведено також відповідно до року проведення заходу.

Учасниками першої конференції стали представники тоді ще Українського державного морського технічного університету, рік по тому перейменованого в Національний університет кораблебудування, Херсонської філії університету, Одеської національної морської академії (ОНМА) і ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект». Відзначимо, що представники ОНМА та ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» і надалі приймали активну участь у подальших конференціях. До речі, тривалий час практично всі доповіді з ОНМА були представлені д.т.н., професором Ханмамедовим С.А. та його численними аспірантами і докторантами. На жаль, після того, як професор Ханмамедова передчасно пішов з життя у 2013 р. рівень активності представників ОНМА знизився.

На першій конференції в 2003 р. були представлені доповіді в 4 секціях:

1. Сучасний стан та перспективи розвитку суднової енергетики;
2. Дослідження робочих процесів в елементах суднових енергетичних установок;
3. Енергозберігаючі та екологічні проблеми в судновій енергетиці;
4. Прогресивні технології виготовлення і монтажу суднових енергетичних установок.

Перші три секції були присутні протягом всіх конференцій, а назва і тематика четвертої змінювалася. Понад 70% доповідей, представлених на першій конференції, були підготовлені студентами та аспірантами. Крім того, практично всі публікації були присвячені саме судновим енергетичним установкам, їх елементах і системах. Надалі тематика розширювалася і включала в себе більшу кількість суміжних напрямів енергетики в цілому.

Переглядаючи програму з прізвищами учасників першої конференції цікаво простежити професійне зростання молодих вчених, для багатьох з яких цей захід став першою серйозною пробою сил. Так, захистили дисертації і стали кандидатами технічних наук асистент Поліщук В.А, студенти Шершньова А.Б. (Мостіпаненко), Волошин А.Ю., Акімов О.В., Рижков О.С., аспіранти Кузнєцова С.А., Новгрецький С.Н., Димо А.Б., Ву Дик Бао, Горячкин А.В., Коновалов Д.В. (зараз вже доктор технічних наук), викладачі Доценко С.М., Ломаковская Т.Ю. та інші. Став начальником відділу КП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» студент Волошин А.Ю., а студент Акімов А.В. – в.о. декана суднової енергетики Херсонської державної морської академії.

На II конференції в 2005 р. збільшилася кількість організацій, які брали участь у заході і кількість поданих доповідей. Так, поряд з Національним університетом кораблебудування, Херсонською філією НУК та Одеською національною морською академією, доповіді представили й інші морські та технічні навчальні заклади: Одеський національний морський університет, Севастопольський національний технічний університет, Первомайський політехнічний інститут НУК. До ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект» приєдналася інші підприємства і дослідницькі організації: завод «Екватор», Південний НВЦ

НДІ «Бояр», Первомайський державний науково-інженерний центр з проблем ресурсо- та енергозбереження.



Конференція 2003 г. На передньому плані зліва направо:
доценти Єсін І.П., Гершанік В.І. і Чередниченко О.К.

Починаючи з 2005 р. на конференції проводиться пленарне засідання, на якому з доповідями виступають вже маститі вчені і керівники підприємств. Так, в 2005 р. на пленарному засіданні були представлені доповіді заступника директора ЦНПОКР ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» Спіцина В.Є., директора заводу «Екватор» Кантора С.А., директора Південного НВЦ НДІ «Бояр» Подгуренко В.С. (зараз доцента кафедри ЕСЕУ та ТЕ), професора Ханмамедова С.А. з Одеської національної морської академії, а також провідних вчених Національного університету кораблебудування: Рижкова С.С., Сербіна С.С., Тимошевського Б.Г. і Горбова В.М.

На III конференції, проведеній в 2007 році, вперше були представлені доповіді зарубіжних учасників з ГУП «Завод ім. В.Я. Клімова» (Російська федерація). Українські доповідачі представляли наступні навчальні заклади і підприємства: Національний університет кораблебудування, Одеська національна морська академія, Одеський національний морський університет, Севастопольський військово-морський інститут ім. П.С. Нахімова, Миколаївський аграрний університет, Херсонська філія НУК, Первомайський політехнічний інститут НУК, ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», Миколаївський морський торговельний порт, КП «Дослідно-проектний центр кораблебудування», ПП «Юг-Тепломер».



Конференція 2007 г. На передньому плані зліва направо:
професор Ханмамедов С.А., професор Горбов В.М., доцент Седько М.П., професор
Тимошевський Б.Г., доцент Харитонов Ю.М.

На IV конференції 2009 р. продовжилася традиція розширення географії учасників, як українських, так і зарубіжних. Від України брали участь: Національний університет кораблебудування, Одеська національна морська академія, Одеський національний морський університет, Національний технічний університет України «КПІ», Первомайський політехнічний інститут НУК, Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, Херсонська філія НУК, Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського, Кіровоградський національний технічний університет, Херсонський державний морський інститут, ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», Морське інженерне бюро, ТОВ «Проектно-дизайнерське бюро «Пролайн», «СКБ Сухіна», ДП «ДержавтотрансНДІпроект», КП «Дослідно-проектний центр кораблебудування».

На конференцію були подані доповіді з Китаю (Харбінський інженерний університет), Польщі (Щецінський технічний університет і Кошалінський технічний університет) та Російської Федерації (Санкт-Петербурзький інститут машинобудування – ЛМЗ-ВТУЗ).

На конференції 2009 р. доповіді були представлені в наступних секціях: «Сучасний стан та перспективи розвитку суднової енергетики»; «Дослідження робочих процесів в елементах суднових енергетичних установок» та «Енергозберігаючі та екологічні проблеми в судновій енергетиці».



Конференція 2007 року - професор Ханмамедов С.А. (ОНМА)
робить доповідь на пленарному засіданні



Відкриття конференції 2009 р. В президії зліва направо:
професор Ханмамедов С.А. (ОНМА), професор Тимошевський Б.Г., головний конструктор-
директор ЦНПОКР ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» Спіцин В.Є., професор Романовський
Г.Ф., професор Горбов В.М., професор Сербін С.І., професор Блинцов В.С. і професор
Димо Б.В.



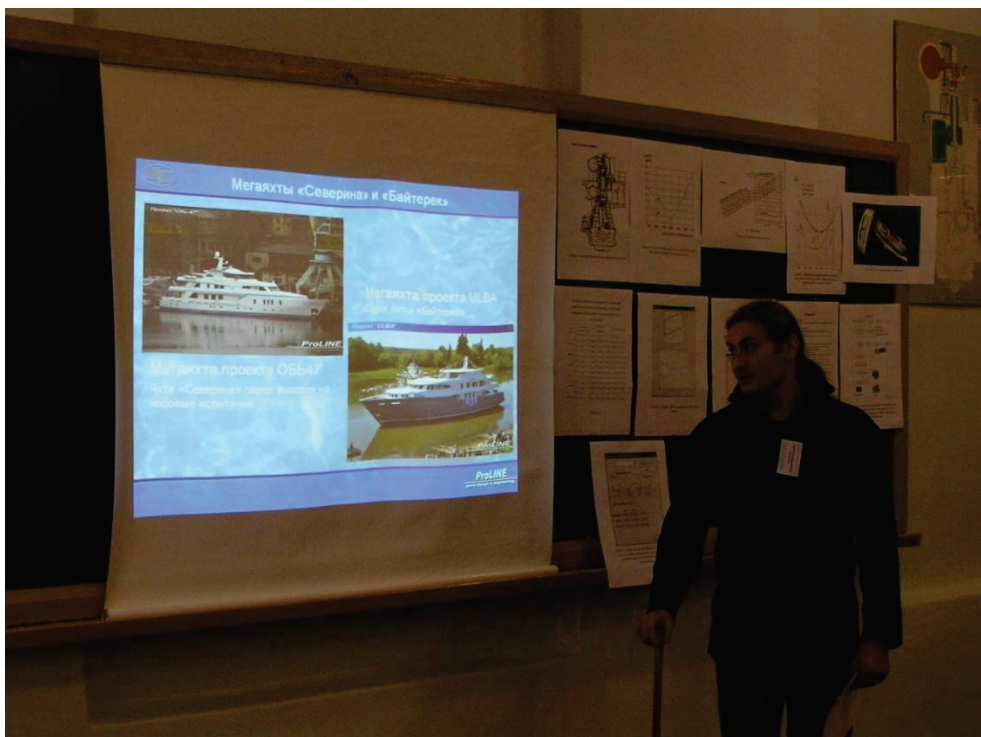
Конференція 2009 року – головний конструктор-директор ЦНПОКР ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» Спіцин В.Є. робить доповідь на пленарному засіданні



Конференція 2009 року – викладачі, аспіранти та студенти на пленарному засіданні



Конференція 2009 року – аспірант Му Юн (Китай) робить доповідь на секції «Дослідження робочих процесів в елементах суднових енергетичних установок»



Конференція 2009 р. – інженер-конструктор Остапук М.М. (ТОВ «Проектно-дизайнерське бюро» Пролайн») робить доповідь на секції «Сучасний стан та перспективи розвитку суднової енергетики»

У 2011 р. на V конференції до традиційних секцій минулих років «Сучасний стан та перспективи розвитку суднової енергетики»; «Дослідження робочих процесів в елементах суднових енергетичних установок» та «Енергозберігаючі та екологічні проблеми в судновій енергетиці» додали четверту – «Шляхи удосконалення підготовки фахівців з суднової

енергетиці в ВУЗах», де публікувалися доповіді, пов'язані з науково-методичним забезпеченням навчального процесу. Вперше спеціально до конференції співробітниками бібліотеки була підготовлена виставка опублікованих наукових і навчально-методичних робіт викладачів НУК, що стало надалі доброю традицією.

На V конференцію представили доповіді учасники з Санкт-Петербурзького інституту машинобудування (Російська Федерація), Національного університету кораблебудування, Одеської національної морської академії, Одеського національного морського університету, Національного технічного університету України «КПІ», Національного технічного університету «ХПІ», Севастопольського національного технічного університету, Першого українського морського інституту (м. Севастополь), Первомайського політехнічного інституту НУК, Херсонської філії НУК, ДП НВКГ «Зоря» - «Машпроект», Морського інженерного бюро, ТОВ «Ферогідродинаміка» (м. Миколаїв). Особисто були присутні на конференції і виступили з доповідями учасники з Національного технічного університету України «КПІ» (професор Дикий М.О.) і Санкт-Петербурзького інституту машинобудування (професор Вохмянин С.М.)



Конференція 2011 р. Президія зліва направо: д.т.н Варбанець Р.А. (ОНМУ), професор Сербін С.І., професор Дикий М.О. (НТУУ «КПІ»)



Конференція 2011 р. - професор Вохмянин С.М. (Санкт-Петербурзький інститут машинобудування – ЛМЗ-ВТУЗ) робить доповідь на секції «Сучасний стан та перспективи розвитку суднової енергетики»



Конференція 2011 р. Виставка наукової та навчально-методичної літератури викладачів НУК



Конференція 2011 р. Засідання секції «Дослідження робочих процесів в елементах суднових енергетичних установок», зліва направо: викладач Мінчев Д.С., аспірант Нагорний А.Ю., викладач Гогоренко О.А.

Конференція 2013 р. стала лідером за кількістю представлених доповідей та географією учасників порівняно із заходами минулих років.

Доповіді були подані з Німеччини (Nordic Yards Holding GmbH), Польщі (Західно-Померанський технологічний університет і Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery Polish Academy of Sciences), Російської Федерації (Інститут машинобудування «ЛМЗ-ВТУЗ» Санкт-Петербурзького державного політехнічного університету, Санкт-Петербурзький державний морський технічний університет, ВАТ «Науково-виробниче об'єднання по дослідженню і проектуванню енергетичного обладнання ім. І.І. Ползунова», ВАТ «Силові машини» – «ЛМЗ»). Учасники з України представляли: Національний університет кораблебудування, Інститут технічної теплофізики НАН України, Регістр Судноплавства України, ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект», Одеську національну морську академію, Севастопольський національний технічний університет, Одеський національний морський університет, Вітропарк «Очаківський», Первомайський політехнічний інститут НУК, Херсонську філію НУК, ТОВ «Ферогідродинаміка», Перший український морський інститут (м. Севастополь) КП «Дослідно-проектний центр кораблебудування», Чорноморський державний університет ім. Петра Могили, Миколаївський національний аграрний університет.



Конференція 2013 р. Відкриття – зліва направо: директор Машинобудівного інституту НУК, професор Сербін С.І., завідувач кафедри ССЕУ, професор Горбов В.М., ректор НУК, професор Рижков С.С.

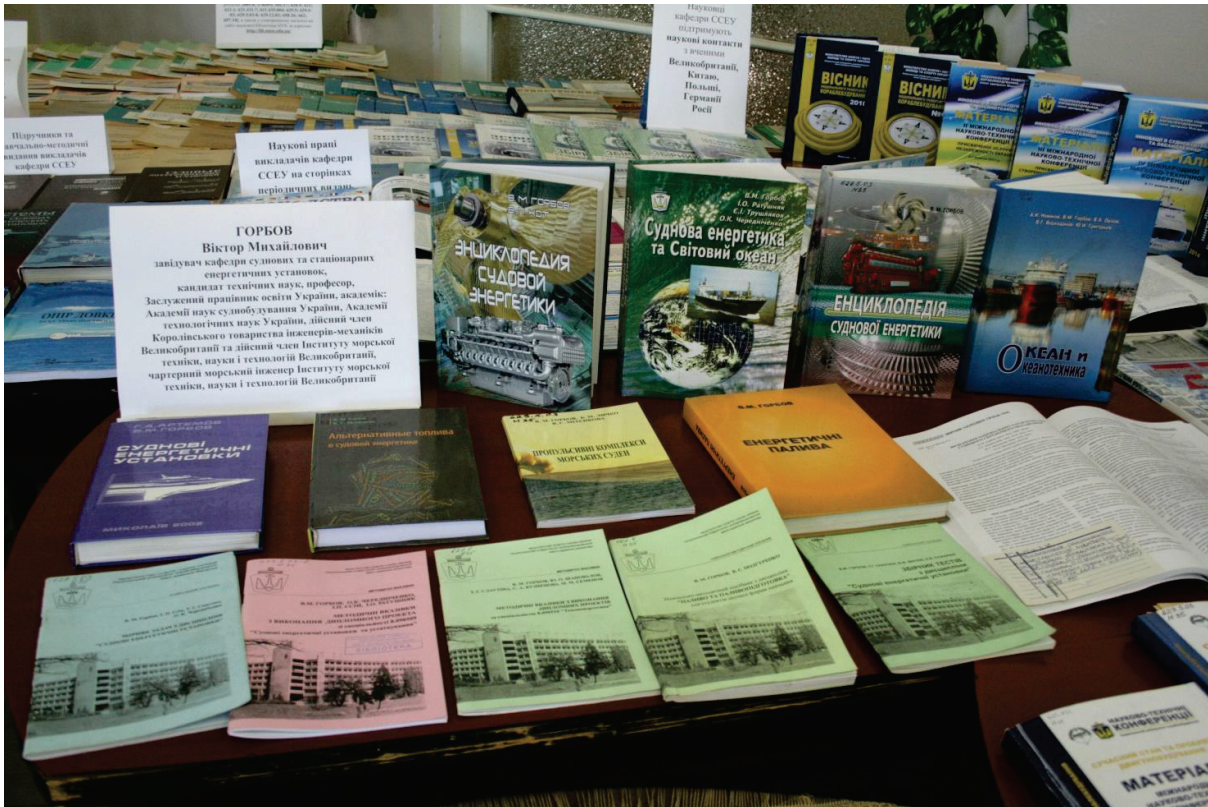


Конференція 2013 р. Професор Гершанік В.І. (Nordic Yards Holding GmbH) робить доповідь на пленарному засіданні



Конференція 2013 р. Доцент Слаутина Т.Г. робить доповідь на секції «Шляхи удосконалення підготовки фахівців з судновій енергетиці в ВУЗах»

VII Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми», проведена у 2015 р., була присвячена 75-річчю кафедри ССЕУ і знову побила попередні рекорди щодо кількості учасників та поданих доповідей. Загалом у 2015 р. було подано 144 доповіді від 185 авторів, що представляли 27 організацій, в т.ч. такі іноземні заклади освіти, як Кошалінський технічний університет (Польща), Західно-Померанський технологічний університет (Польща) та Санкт-Петербурзький державний морський технічний університет (Російська Федерація). Слід відмітити, що в ювілейній конференції прийняли участь рекордна кількість навчальних закладів України, де готують фахівців з проектування та експлуатації суднових енергетичних установок: Національний університет кораблебудування, Одеський національний морський університет, Одеська національна морська академія, Херсонська державна морська академія, Київська державна академія водного транспорту, Севастопольський державний університет, Керченський морський державний університет. Окрім наукової та методичної спрямованості надійшли доповіді практичного плану з промислових підприємств та проектних організацій, включаючи ДП НВКГ «Зоря-Машпроект», ВАТ «Южная судоремонтная компания», ПАТ завод «Екватор», Регістр судноплавства України, Центральне конструкторське бюро «Корал», АСК «Укррічфлот». Нажаль, після 2015 р. профільні навчальні заклади та організації з Криму та Російської Федерації не приймали участь у подальших конференціях.



Конференція 2015 р. Традиційна виставка наукових та методичних трудів фахівців кафедри ССЕУ

Оскільки конференція була присвячена 75-річчю кафедри ССЕУ, привітати ювіляра у особі завідуючого професора Горбова В.М. та всього колективу кафедри приїхали делегації з Херсонської державної морської академії, включаючи завідуючого кафедрою експлуатації судових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки професора Букетова А.В. та декана факультету суднової енергетики доцента Білоусова Є.В., та ОНМУ, в т.ч. завідуючого кафедрою судових енергетичних установок та технічної експлуатації професора Варбанця Р.А. та декана судномеханічного факультету Шуміло О.М. Окремо хотілося б відмітити приїзд професора Вассермана О.А. з ОНМУ, провідного фахівця в галузі техніки низьких температур. Серед фахівців-практиків, що особисто прийняли участь у конференції, можна відмітити завідуючого сектором відділу турбін ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» Дашевського Ю.Я., директора ВАТ «Южная судоремонтная компания» Бурковця С.В., директора ПАТ завод «Екватор» Кантора С.А. та директора Запорізького регіонального представництва Регістра судноплавства України Подріза В.В.

Робота конференції включала доповіді на пленарному засіданні та в чотирьох секціях. Як і у попередні роки, VII Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми» пройшла у теплій та дружній атмосфері. Доповіді робили, як визнані фахівці, так і студенти, які тільки починають свій шлях у науці.



Конференція 2015 р. Професор Горбов В.М. та молоді науковці з ОНМА



Конференція 2015 р. Професор Горбов В.М. та професор Вассерман О.А. (ОНМУ) – дружня
бесіда двох колег



Конференція 2015 р. Пленарне засідання, конференц-зал Старого корпусу НУК, доповідь робить професор Горбов В.М.



Конференція 2015 р. Екскурсія в лабораторію дефектації суднових дизелів кафедри ССЕУ, зліва направо: доцент Білоусов Є.В. (ХДМА), старший викладач Кротик І.А. (НУК, кафедра ССЕУ), завідуючий кафедрою ССЕУ професор Горбов В.М (НУК) та професор Букетов А.В. (ХДМА)

VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми» проходила в Старому корпусі НУК 8-10 листопада 2017 р. На конференцію було подано 141 доповідь від 214 авторів, що представляли 20 організацій з України, Китаю та Польщі.

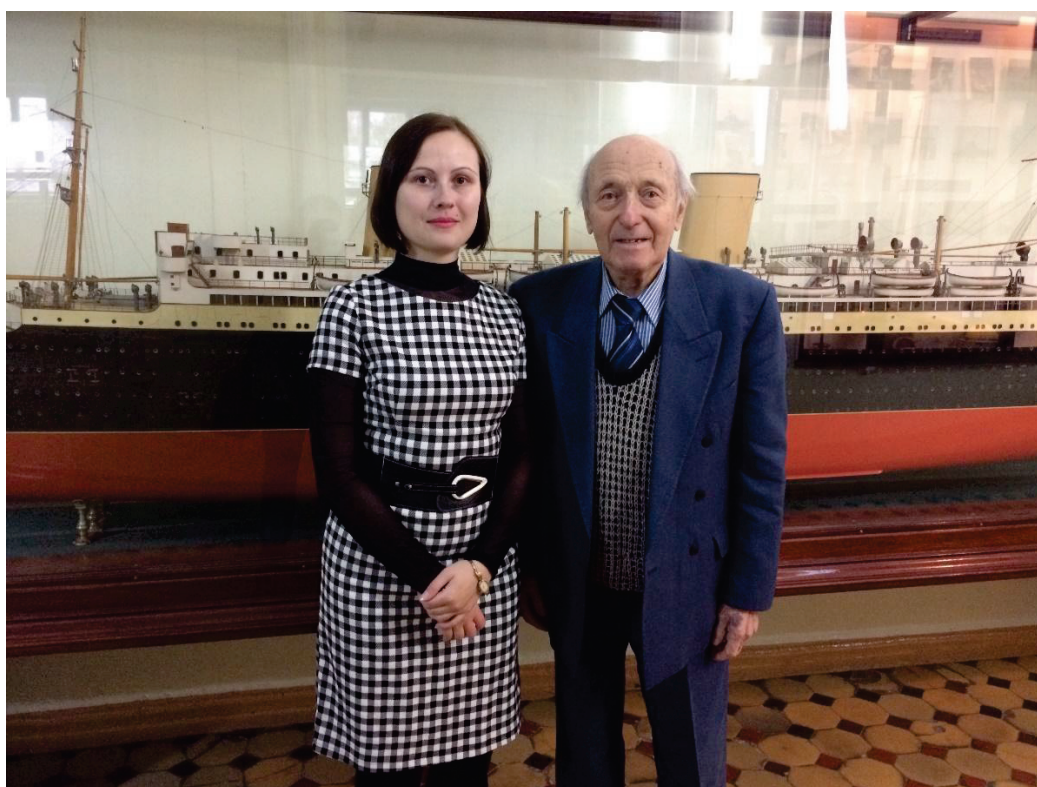
Було відзначено широкий спектр розглянутих актуальних проблем, пов'язаних з сучасною судновою енергетикою: науково-технічні положення градієнтних технологій сепарації аерозолів в енергетичних установках, результати п'ятирічної експлуатації промислової ВЕС північного Причорномор'я України, розробка базових принципів проектування термоакустичних систем використання низькотемпературних теплових ресурсів, комплексне дослідження ефективності застосування термохімічних технологій у суднових енергетичних установках газозовів, особливості забезпечення моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у складі бортових інформаційно-діагностичних комплексів



Конференція 2017 р. Доповідь доцента Тарасенко О.І.



Конференція 2017 р. Доповідь професора Шостака В.П.



Конференція 2017 р. Професор Вассерман О.А. (ОНМУ) і вчений секретар конференції доцент Мітенкова В.С.

IX Міжнародна науково-технічна конференція «Суднова енергетика: стан та проблеми» проходила в Старому корпусі НУК 7-8 листопада 2019 р. На конференцію було

подано 124 доповіді від авторів з України та Китаю. Слід відмітити, що значну кількість доповідей надіслали магістри та аспіранти з різних вишів України.

У 2021 р. відбудеться Х-та ювілейна конференція. Є сумні моменти: у цьому році вже не будуть присутні постійні учасники попередніх конференцій професор Вассерман О.А. (ОНМУ) і доцент Єсін І.П. (НУК), що не так давно пішли з життя, епідеміологічні обмеження негативно вплинули на кількість поданих доповідей та географію авторів доповідей. Але по добрій традиції і в 2021 р. на конференцію окрім викладачів НУК, включаючи філії, подали доповіді колеги з Одеського національного морського університету, Херсонської державної морської академії, Одеської національної морської академії. Надійшли доповіді з вищих навчальних закладів та наукових установ і підприємств Німеччини, Польщі, Китаю. На пленарному засіданні результати власних досліджень викладачі кафедри ЕСЕУ та ТЕ Чередніченко О.К. і Коробко В.В. представлять вже у вченому званні докторів наук.

Колектив кафедри ЕСЕ та ТЕ з впевненістю дивиться у майбутнє і зробить все, щоб і надалі відбувалися засідання нашої конференції, щоб її спрямованість відповідала потребам морської галузі і щоб друзі та колеги з профільних вишів, наукових установ та підприємств мали можливість обговорення шляхів розвитку суднової енергетики.

ESSAYS ON THE HISTORY OF THE CONFERENCE “SHIP POWER ENGINEERING: STATE AND ISSUES”

Gorbov V. M., PhD, Prof, Head of the Department

Mitienkova V. S., PhD, Assoc. Prof

Department of Ship Power Plants Operation & Heat-power Engineering

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. An analytical look at the history of the conference "Ship Power Engineering: State and Issues" is given. The change in the scale of the event, the list of organizations and the geography of the participants is traced. Photos from conferences of different years are given.

Keywords: scientific and technical conference, ship power engineering, National University of Shipbuilding.

Секція № 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

УДК 621.438 (075)

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ГАЗОТУРБІННОГО АГРЕГАТУ З ЕЖЕКЦІЙНИМ ПЕРЕРОЗШИРЕННЯМ ГАЗУ В ТУРБІНІ

Патлайчук В. М.

*кандидат технічних наук,
завідувач кафедри турбін*

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Патлайчук О. В.

студент гр.5141м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Борщов О. М.

студент гр.5232м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуті питання розробки конструкції газотурбінного агрегату з ежекційним перерозширенням газу в турбіні. Проаналізовані наслідки додавання повітряно-струйного ежектора на габарити, масу та ефективність газотурбінного агрегату, а також на особливості його проектування та експлуатації.

Ключові слова: газотурбінна установка; повітряноструйний ежектор; перерозширення газу; особливості конструкції; теплоперепад.

Одним з можливих напрямків підвищення ефективності і корисної потужності газотурбінних агрегатів (ГТА) є застосування перерозширення газу в турбінній частині цих агрегатів.

Відомо, що потужність турбінної частини прямопропорційна спрацьовуємому в ній теплоперепаду, який являє собою різницю ентальпій газу до і після турбінної частини. Ентальпія, як характеристика потенційної енергії, функціонально залежить від тиску і температури. Чим більше тиск і температура, тим більше і ентальпія робочого тіла. Отже, для збільшення спрацьовуємого теплоперепаду необхідно прагнути, з одного боку, до збільшення параметрів газу (тиску і температури) перед турбіною, а з іншого – до їх зменшення за турбіною.

Збільшення параметрів газу перед турбіною забезпечується конструктивними частинами газотурбінного агрегату, розташованими раніше. Тиск підвищується в компресорній частині при стисненні повітря; температура підвищується, головним чином, в камері згоряння за рахунок спалювання палива.

Розглянемо, від чого залежать параметри газу на виході з турбіни. В газотурбінних установках відкритого термодинамічного циклу, в яких викид відпрацьованих газів здійснюється в атмосферу, тиск на виході з турбінної частини ГТА встановлюється приблизно рівним атмосферному тиску. Він лише трохи більший цього значення на величину втрат тиску в газовипускному тракті. Газотурбінні агрегати відкритого циклу, в яких тиск на виході з турбіни з метою підвищення спрацьовуємого в ній теплоперепаду організовується меншим, ніж атмосферний, отримали назву **агрегатів з перерозширенням газу в турбіні**.

ГТА з перерозширенням газу спрацьовують в турбіні значно більший теплоперепад, проте потребують додаткових конструктивних елементів для викиду відпрацьованого газу в атмосферу, оскільки самостійно, без цих елементів, газ до неї вже вийти не може. Ці додаткові елементи повинні підвищити тиск газу до атмосферного (з урахуванням втрат тиску у випускному тракті).

У ролі подібних додаткових дожимних пристроїв можливе використання:

- а) спеціальних компресорів (ексгаустерів);
- б) повітряноструйних ежекторів.

Необхідно сказати, що в обох випадках на функціонування дожимного пристрою буде витрачатися механічна енергія турбінної частини газотурбінного агрегату, що в значній мірі знижує позитивний ефект від перерозширення газу. Оскільки застосування перерозширення таким чином буде впливати на ефективність ГТА неоднозначно (з одного боку збільшувати потужність турбіни за рахунок більшого спрацьовуємого теплоперепаду, а з іншого боку зменшувати її внаслідок відбору потужності на привід дожимного пристрою), то вибір параметрів газотурбінного агрегату такого типу повинен проводитися шляхом серії оптимізаційних розрахунків з урахуванням конкретних особливостей його конструктивного виконання.

У даній роботі досліджується можливість створення газотурбінного агрегату з перерозширенням газу, який використовує в якості дожимного пристрою **повітряноструйний ежектор**. У ролі робочої речовини передбачається використання повітря, яке відбирається з проміжних ступенів компресорної частини самого ГТА. Як уже зазначалося, на функціонування даного пристрою буде витрачатися механічна енергія турбінної частини ГТА, оскільки відбиратися на ежекцію буде повітря, на стискання якого вже була витрачена механічна енергія.

Компонування силової турбіни газотурбінного агрегата з ежекційним пристроєм наведена на рис. 1.

Конструкція силової турбіни взята на прикладі конструкції суднового газотурбінного агрегата простого термодинамічного циклу UGT 25000 [1], який серійно виготовляється державним підприємством НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (м. Миколаїв, Україна).

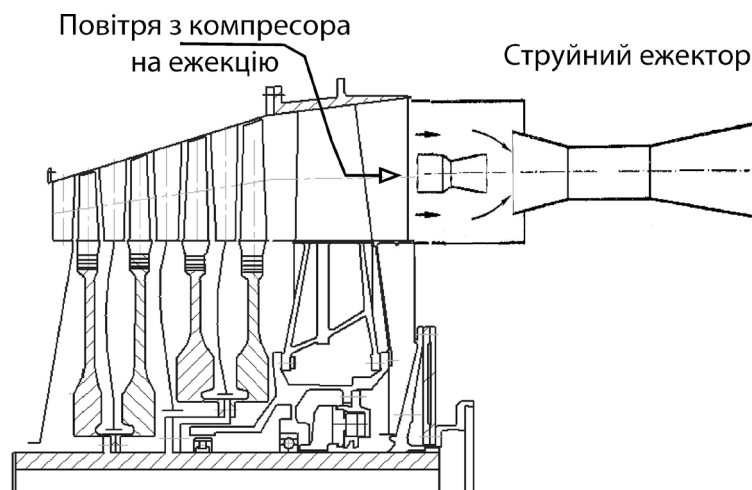


Рис. 1. Компонування ГТА з повітряноструйним ежектором

Відбір повітря на ежекційний пристрій здійснюється з проміжних ступенів компресорної частини ГТА (як правило, з проміжних ступенів компресора низького тиску). Повітряноструйний ежектор кільцевої форми розташований безпосередньо за силовою турбіною агрегата після стійки задньої опори.

Слід зауважити, що конструктивно такий газотурбінний агрегат буде мати два кільцевих контури руху компресорного повітря (зовнішній – для ежекційного повітря, внутрішній – для повітря, яке після компресора йде до камери згоряння та турбіни) і тим буде дещо нагадувати авіаційні двоконтурні турбореактивні двигуни (ТРДД) малої двоконтурності зі змішанням потоків у реактивному соплі [2]. Перші ступені компресорної частини, які розташовані до відбору повітря, в ТРДД традиційно називають **вентиляторними** і їх будова в значній мірі подібна до будови таких же ступенів проектуемого газотурбінного агрегата. Організація руху ежекційного повітря від місця

забору до ежектора також буде подібна до руху повітря зовнішнього контуру в ТРДД зі змішанням потоків.

У порівнянні з ГТА простого циклу газотурбінний агрегат з ежекційним перерозширенням газу:

- матиме більшу довжину та масу;
- його роботі буде притаманна більша гучність;
- вентиляторні компресорні лопатки через більшу довжину будуть відчувати значно більші навантаження від дії відцентрових сил.

Не зовсім зрозумілим є вплив відбору повітря на стабільність роботи компресорної частини ГТА на режимах часткового навантаження. Слід зауважити, що повітря, яке рухається до ежектору по кільцевому просторі, буде охолоджувати зовнішній корпус газотурбінного агрегату [3].

При розрахунку необхідно буде враховувати досить значні втрати тиску ежекційного повітря на шляху від точки відбору до місця ежекції.

Література:

1. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 1. Агрегати виробництва України та Росії. – Миколаїв: НУК, 2005. – 344 с.
2. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Газотурбінні агрегати: у 2 ч. Ч. 1. Загальна будова та класифікація. – Миколаїв: НУК, 2016. – 216 с.
3. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Газотурбінні агрегати: у 2 ч. Ч. 2. Елементи конструкцій. – Миколаїв: НУК, 2017. – 198 с.

DESIGN OF GAS TURBINE UNIT WITH EJECTION OVER-EXPANSION OF GAS IN THE TURBINE

Patlaichuk V. M., Head of the Department of Turbines, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Patlaichuk O. V., student, group 5141m, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Borschov O. M., student, group 5232m, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The paper deals with the development of the design of a gas turbine unit with ejection over-expansion of gas in the turbine. The influence of the air-jet ejector on the dimensions, weight and efficiency of gas turbine unit, as well as on the features of its design and operation, has been analyzed.

Keywords: gas turbine unit; air-jet ejector; gas over-expansion; design features; heat drop.

УДК 621.438 (075)

МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ГАЗОТУРБІННОГО АГРЕГАТУ З ЕЖЕКЦІЙНИМ ПЕРЕРОЗШИРЕННЯМ ГАЗУ В ТУРБІНІ

Патлайчук В. М.

кандидат технічних наук,

завідувач кафедри турбін

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Пустовойченко А.Є.

студент гр.6231м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Борщов О. М.

студент гр.5232м

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуті питання розробки методики теплового розрахунку газотурбінного агрегату з ежекційним перерозширенням газу в турбіні. Проаналізовані особливості конструкції та розрахунку параметрів повітряноструйного ежектора. Визначен вплив основних параметрів на його ефективність.

Ключові слова: газотурбінна установка; повітряноструйний ежектор; перерозширення газу; особливості конструкції; тепловий розрахунок.

Розробку методики теплового розрахунку газотурбінного агрегату (ГТА) з ежекційним перерозширенням газу в турбіні будемо проводити для конструкції двокаскадного газотурбінного агрегата із вільною силовою турбіною. Така конструкція знайшла широке застосування у складі суднових пропульсивних комплексів різних виробників [1].

Передбачається, що відбір повітря на ежекційний пристрій здійснюється з проміжних ступенів компресорної частини ГТА (точніше з проміжних ступенів компресора низького тиску). Повітряноструйний ежектор кільцевої форми розташований безпосередньо за силовою турбіною агрегата після стійки задньої опори.

Розрахунок досліджуваної конструкції газотурбінного агрегату являє собою традиційний розрахунок параметрів газотурбінного агрегату простого термодинамічного циклу (наприклад, за методикою, викладеною в роботі [2]), ускладнений необхідністю враховувати наявність додаткових конструктивних елементів.

Розрахунок повітряноструйного ежектора полягає у визначенні усіх його параметрів та необхідної витрати повітря. Проводити розрахунок ежектора будемо відповідно до методики, розробленої Є.Я. Соколовим та С.Ф. Копьєвим та викладеною в роботі [3].

Основним положенням при розрахунку любого струйного апарату, у тому числі й проєктуємого ежектора, є закон збереження кількості руху

$$G_{\text{еж}} w_{\text{еж}} + G_{\text{т3}} w_{\text{т3}} = (G_{\text{еж}} + G_{\text{т3}}) w_{\text{см}},$$

де $G_{\text{еж}}$ та $G_{\text{т3}}$ – витрати ежекційного повітря та випускного газу з силової турбіни, кг/с; $w_{\text{еж}}$ та $w_{\text{т3}}$ – швидкості цих речовин при вході до камери змішання, м/с; $w_{\text{см}}$ – швидкість суміші в камері змішання до входу в дифузор, м/с.

Важливе значення має параметр, який зветься **коефіцієнт ежекції** та є відношенням кількості випускного газу з силової турбіни до кількості повітря, яке витрачається на ежекцію:

$$u = \frac{G_{\text{т3}}}{G_{\text{еж}}}.$$

Прийmemo для розрахунку схему розподілу тиску уздовж ежекційного пристрою, яка зображена на рис. 1. Тиск в камері змішання прийнятий постійним, хоча в дійсності він дещо збільшується. Для створення потрібної швидкості ежектуємого випускного газу при вході до камери змішання тиск P_{β} в ній повинен бути нижчим, ніж тиск газу за силовою турбіною P_4 . Це зниження тиску в камері змішання характеризується **коефіцієнтом β** , який визначає швидкість $w_{\text{т3}}$ випускного газу перед змішанням:

$$\beta = \frac{P_4 - P_{\beta}}{P_5 - P_4},$$

тобто відношенням напору, витрачаємого на створення вхідної швидкості ежектуємої речовини, до напору, який створюється струйним апаратом.

Стискання суміші повітря та випускних газів в ежекторі вважаємо ізоентропійним.

Коефіцієнт корисної дії усього ежектора може бути визначений як відношення використовуємої енергії до затраченої на ежекцію енергії, тобто

$$\eta_{\text{еж}} = \frac{G_{\text{т3}} h}{G_{\text{еж}} (H - h)} = \frac{u}{\frac{H}{h} - 1},$$

де $H = P_{\text{п}} - P_4$ – напор при витоку ежекційного повітря; $h = P_5 - P_4$ – напор, який створюється струйним апаратом.

Втрати тиску при перетворенні енергії у різних частинах ежекційного пристрою можуть бути охарактеризовані коефіцієнтами корисної дії цих частин. Орієнтовні значення цих коефіцієнтів (на основі досвіду проєктування та експлуатації пароструйних ежекторів

паротурбінних установок) знаходяться в межах: ККД сопла $\eta_1 = 0,95...0,97$; ККД входу до камери змішання $\eta_2 = 0,80...0,92$; ККД процесу змішання $\eta_\chi = 0,95...0,97$; ККД дифузору $\eta_3 = 0,70...0,85$ [3].

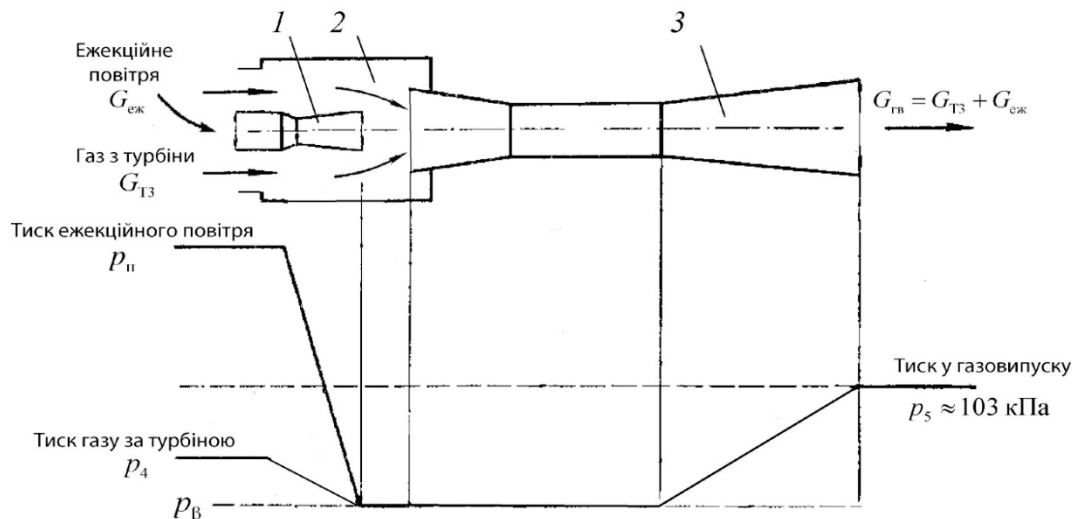


Рис. 1. Загальна будова та зміна тиску за рухом робочих речовин у повітряноструйному ежекторі:

1 – сопло; 2 – камера змішання; 3 – дифузор

Результати досліджень пароструйних ежекторів паротурбінних установок в межах $u = 0,1...3,0$ та $\beta = 0...1$ [3] свідчать про те, що оптимальні значення коефіцієнта β залежать від значень коефіцієнта ежекції u . Чим менше u , тим нижче повинно бути β . Графіки значень ККД ежектора досить пологі поблизу максимуму, що дозволяє при практичних розрахунках обирати оптимальні значення β , близькі до абсолютного максимуму, не користуючись кожного разу математичними розрахунками ККД ежектора.

Розроблена методика розрахунку газотурбінного агрегата з ежекційним перерозширенням газу в турбіні може бути використана для проектування та дослідження параметрів ГТА даного типу.

Література:

1. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Газотурбінні агрегати: у 2 ч. Ч. 1. Загальна будова та класифікація. – Миколаїв: НУК, 2016. – 216 с.
2. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 304 с.
3. Берман С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. – М.: ГНТИМЛ, 1976. – 427 с.

METHOD OF THERMAL CALCULATION OF GAS TURBINE UNIT WITH EJECTION OVER-EXPANSION OF GAS IN THE TURBINE

Patlaichuk V. M., Head of the Department of Turbines, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Pustovoichenko A. E., student, group 6231m, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Borschov O. M., student, group 5232m, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The issues of developing a method of thermal calculation of a gas turbine unit with ejection over-expansion of gas in the turbine are considered. The peculiarities of the design and calculation of the parameters of the air-jet ejector are analyzed. The influence of the main parameters on its efficiency is determined.

Keywords: gas turbine unit; air-jet ejector; gas over-expansion; design features; thermal calculation.

УДК 62-714.1

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ РІДИНИ СУДНОВОГО КРАНУ MACGREGOR

Погорлецький Д.С.¹, Голота Є.С.².

¹кандидат технічних наук, ²магістр

кафедри експлуатації суднових енергетичних установок

Херсонської державної морської академії

м. Херсон, Україна

¹dimon150582@gmail.com, ²mehanikgalota@gmail.com

Анотація. Однією з основних проблем гідроустаткування кранів MACGREGOR є перегрів робочої рідини (масла) під час використання крану в тропічних широтах, при проведенні вантажних операцій в порту, коли температура навколишнього середовища змінюється від 36 до 48 °С, а системи охолодження гідравлічного масла не справляються з температурним навантаженням на систему. В кращому випадку система буде автоматично зупинена, але й можливий вихід з ладу елементів гідравлічної системи крану, а це може призвести до простоїв при вантажних операціях в порту. Проблема перегріву масла може виникнути в гідравлічній системі будь-якого типу – стаціонарній або мобільній. При цьому критичне підвищення температури робочої рідини призводить до поломки обладнання, і як наслідок – простоїв і збитків, що й спричиняє перегрів масла.

Ключові слова: вантажний кран, гідравлічне масло, перегрів, охолодження.

Ефективна робота гідравлічної системи суднового вантажного крану MACGREGOR багато в чому залежить від підтримки оптимальних температурних умов для забезпечення стабільної роботи гідравлічного приводу. Перегрів є найбільш поширеною проблемою в гідравлічному обладнанні вантажного крану. Під час робочого процесу робоча рідина не може бути природним чином охолоджена, що вимагає використання теплообмінників, функція яких полягає в тому, щоб точно підтримувати температуру робочого тіла в

оптимальних межах, але якщо за умови використання вантажних кранів в сухому тропічному кліматі де температура навколишнього середовища змінюється у межах 36...48 °С. Щоб температура робочої рідини залишалася стабільною, необхідно, щоб гідравлічна система була здатна розсіювати тепло. Причому ця здатність повинна перевищувати втрати енергії, що відбуваються всередині гідросистеми [1–4]. Так наприклад, для системи, яка має безперервну споживану потужність в 100 кВт і значенні ККД 80 %, необхідна здатність розсіювання тепла не нижче, ніж 20 кВт. Необхідно відзначити, що при збільшенні теплової потужності або при скороченні здатності гідравлічної системи до розсіювання тепла змінюється рівновага між розсіюванням і тепловою потужністю. Розглянемо конкретний приклад. Гідравлічна система (насосна станція) володіє постійною потужністю 37 кВт. Для підтримки стабільної температури гідравлічна система вантажного крану додатково обладнана теплообмінником повітряного типу, здатним розсіювати максимально 10 кВт тепла, що становить 27% від вхідної потужності. Розраховується це так: потужність розсіювання тепла/постійну потужність 100%, відповідно $10/37 * 100 = 27\%$. З точки зору конструкції мобільної гідросистеми, цього цілком достатньо для захисту від перегріву. Однак втрата тиску в системі може привести до збільшення потужності, що викликає надмірний нагрів масла. Це означає наступне: теплова потужність втрат стає більше здатності теплообмінника розсіювати тепло. Таким чином і відбувається перегрів гідросистеми. Нагрівання робочої гідравлічної рідини (масла), як правило, вказує на недостатню ефективність системи, тому відбувається перетворення частини вхідної потужності в тепло [1-4].

Можливий перегрів гідро ліній та механізмів вантажного крану, щоб цього уникнути пропонується додатково обладнати вантажний кран спеціальною системою підтримання мікроклімату у приміщенні де знаходяться гідравлічні механізми та системи вантажного електрогідравлічного крану, а саме пропонується встановлення спліт-системи типу MDB200BR2/MMC100BR для охолодження машинного відділення крану, та підтримання мікроклімату у машинному відділенні вантажного крану. Дана спліт-система має продуктивність 58,6 кВт при витраті повітря 3021 л/с, у якій використовується хладагент R134a. Паяні трубні з'єднання забезпечують надійну роботу системи. За допомогою TRV виконується керування температурного режиму у машинному відділенні електрогідравлічного крану. Монтаж даної спліт-системи забезпечує оптимальний температурний режим у машинному відділенні електрогідравлічного суднового крану 25...35 °С, а це у свою чергу безперервну роботу крану, за рахунок підтримання оптимальної температури гідравлічного

масла вантажної системи судна. Алгоритм роботи модернізованої системи охолодження гідравліки суднового вантажного крану фірми MACGREGOR представлено на (рис.1).

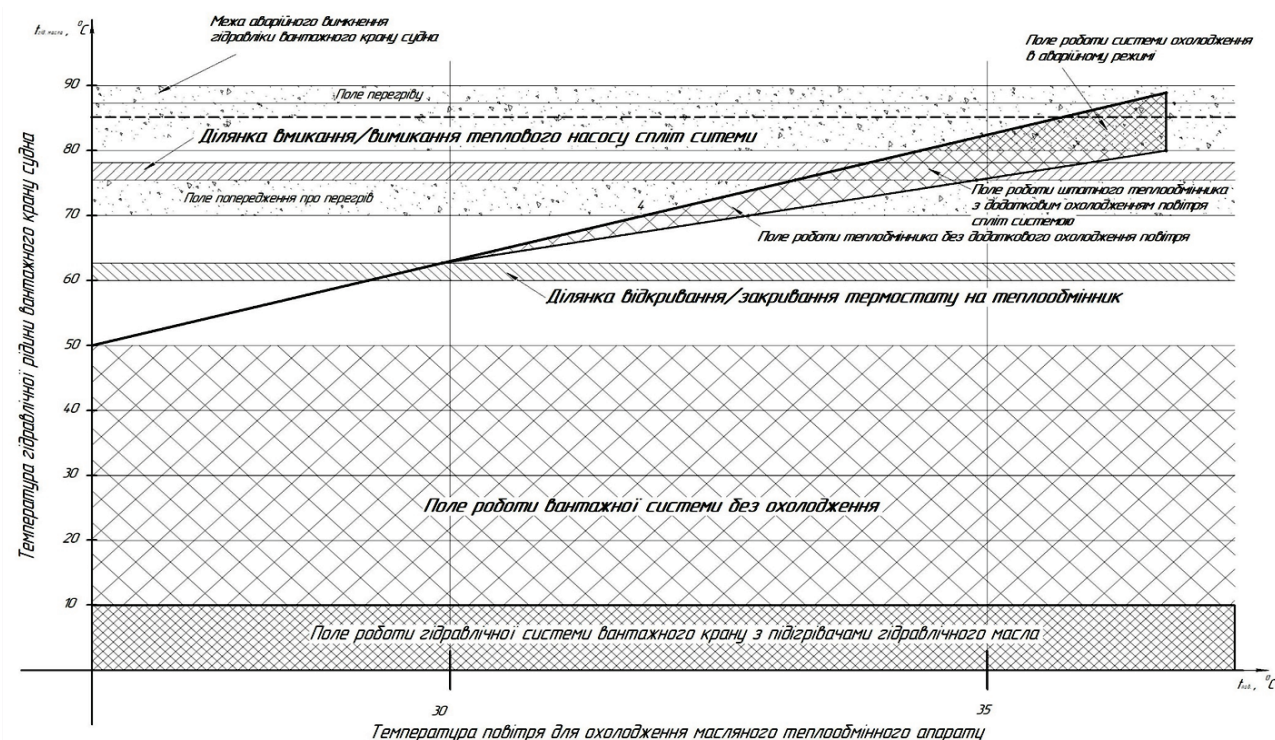


Рисунок 1 - Алгоритм роботи модернізованої системи охолодження гідравліки суднового вантажного крану

Висновок. У роботі було запропоновано декілька шляхів, за допомогою яких можна вирішити проблему перегріву в гідравлічних системах. Перший шлях – зниження теплової потужності. Другий – збільшення здатності системи до розсіювання тепла. При цьому кращим варіантом завжди вважається саме перший – зменшення теплової потужності. Це пов'язано з тим, що підвищується ККД гідросистеми. Третій шлях за допомогою яких можна вирішити проблему перегріву в гідравлічних системах, це встановлення додаткового теплообмінного апарату для охолодження гідравлічної рідини (масла) або спліт системи для підтримання оптимальної температури у приміщенні де знаходяться гідро лінії.

Література:

1. Декин Б.Г., Горин А.А., Скоморохов В.И. Эксплуатация судовых гидравлических кранов: руководство по обслуживанию, ранжированию отказов и их устранению Одесса: Латстар, 2002. – 80 с.
2. Оптимизация судового машиностроительного оборудования / Суслов В.Ф., Даниловский А.Г., Ефимов О.И., Исаев И.И., Шаманов Н.П. / СПб.: Издательский центр СПбГМТУ, 2004. Том 1. – 312с.
3. Иванова М.А. Многофункциональный судовой кран // Морской вестник. 2007. – №3 (23). – с.62-65.

4. Transition devices eliminate need for cranes offshore [Text] : научное издание // Offshore Int. – 1994. – Vol. 54, N 8. – P100. – ISSN 0030-0608

MODERNIZATION OF THE MACGREGOR SHIP CRANE HYDRAULIC FLUID COOLING SYSTEM

Pohorletskyi Dmytro Serhiiiovych., Golota Yevhen Serhiiiovych
Kherson State Maritime Academy

Abstract. One of the main problems of MACGREGOR hydraulic equipment is overheating of the working fluid (oil) during the use of the crane in tropical latitudes, during cargo operations in the port, when the ambient temperature varies from 36 to 48 ° C and hydraulic oil cooling systems do not cope with temperature. system load. In the best case, the system will be stopped automatically, but the elements of the hydraulic system of the crane may fail, and this can lead to downtime during cargo operations in the port. The problem of oil overheating can occur in any type of hydraulic system – stationary or mobile. At the same time, a critical increase in the temperature of the working fluid leads to equipment failure, and as a consequence – downtime and damage, which causes overheating of the oil.

Key words: cargo crane, hydraulic oil, overheating, cooling.

УДК 65.9

ПИТАННЯ ЗМЕНШЕННЯ АВАРІЙ ОБЛАДНАННЯ СЕУ

Кісстов Ю. В.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

kisetov499@ukr.net

Кукліна О. Ю.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

olga11kuklina@gmail.com

Анотація. Зроблено аналіз організаційно-керівних документів стосовно функціональних обов'язків установ і організацій України, щодо проведення спеціальних заходів із підвищення безпеки та посилення охорони на морі з виконанням вимог міжнародних Конвенцій.

Ключові слова: аварія, суднове енергетичне обладнання, безпека мореплавства, система управління безпекою.

Характерною рисою сучасного етапу вирішення проблем аварійності процесів експлуатації обладнання суднових енергетичних установок є впровадження численних організаційно-керівних і регламентуючих документів для судноплавних компаній, які скеровані на питання підтримання необхідного рівня безпеки мореплавства. Прийняття

Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (СОЛАС-74) визначило порядок огляду суден, рятувального та іншого обладнання, конструкцій, механізмів тощо. Зростання економічного і екологічного збитку при аваріях суден змусили Міжнародну морську організацію (ІМО) звернути увагу всіх держав не тільки на невідкладні необхідність забезпечення безпеки судноплавства, а й на правила розслідування аварій. Для контролю над «людським фактором» були розроблені системи менеджменту – Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (ISMCODE), Міжнародний кодекс з охорони суден і портових споруд (ISPCODE), Система менеджменту якості (ISO 9001: 2008), Система екологічного менеджменту (ISO 14001: 2004), Система менеджменту професійного здоров'я і безпеки (OHSAS 18001: 2007) та ін.

Система управління безпекою – структурована та документована система, яка дозволяє персоналу ефективно проводити політику судноплавної компанії стосовно забезпечення безпеки та захисту навколишнього середовища. (В докладі під судноплавною компанією маємо на увазі власника судна, або особу, наприклад управляючий або фрахтувальник по бербоут-чартеру, яка приймає на себе відповідальність за експлуатацію судна від судновласника і яка згодна прийняти на себе всі обов'язки та необхідні дії під час та після аварій).

Поява документа Регістра судноплавства України «Процедура з сертифікації систем управління безпекою» [1] системно і детально описує питання підготовки і проведення аудиту судноплавних компаній, основними етапами якої можна назвати наступні:

- розгляд і схвалення Свідоцтв про управління безпекою (SMC) компаній.
- перевірку відповідності компаній та суден до вимог Міжнародного кодексу з управління безпекою (МКУБ), глави IX Міжнародної конвенції СОЛАС і до схваленої документації з SMC;
- видачу документів про відповідність (DOC) та (SMC), у тому числі тимчасових;
- проведення проміжних перевірок;
- проведення додаткових перевірок.

В документі також наведена детальна блок-схема процесу сертифікації компаній на відповідність вимогам МКУБ та/або Адміністрації

Видача свідоцтв повинна гарантувати, що Система управління безпекою повністю відповідає МКУБ, вимогам Адміністрації та задовільно функціонує і відповідає умовам використання судна. (У даному випадку термін «Адміністрація» – це уряд держави під прапором якої має право плавати судно). Ця процедура використовується для видачі DOC та SMC від імені Адміністрації.

Прийняття Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (СОЛАС-74) визначило порядок огляду суден, рятувального та іншого обладнання, конструкцій, механізмів тощо. Зростання економічного і екологічного збитку при аваріях суден змусили Міжнародну морську організацію (ІМО) звернути увагу всіх держав не тільки на невідкладні необхідності забезпечення безпеки судноплавства, а й на правила розслідування аварій. Для контролю над «людським фактором» були розроблені системи менеджменту – Міжнародний кодекс з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню (ISMCode), Міжнародний кодекс з охорони суден і портових споруд (ISPSCode), Система менеджменту якості (ISO 9001: 2008), Система екологічного менеджменту (ISO 14001: 2004), Система менеджменту професійного здоров'я і безпеки (OHSAS 18001: 2007), та ін.

ВИСНОВКИ. Україна, як учасник ряду Міжнародних конвенцій, що регламентують безпеку судноплавства, виконує прийняті на себе зобов'язання в рамках цих Конвенцій. Відповідними державними структурами України видано низку організаційно-керівних документів стосовно функціональних обов'язків відповідних підрозділів міністерств, відомств, портів, інших установ і організацій, щодо проведення спеціальних заходів із підвищення безпеки та посилення охорони на морі з виконанням вимог міжнародних Конвенцій.

Література:

1. Процедура з сертифікації систем управління безпекою: № 2-04-9 (версія5). / Регістр судноплавства України:– К., 2018. 54с.

ISSUES OF ACCIDENT EQUIPMENT ACCIDENT REDUCTION

Kisietov J. V., candidate of technical sciences, Associate Professor of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

Kuklina O. J., candidate of technical sciences, Associate Professor of Computer Integrated Technologies and Engineering Graphics

Mykolayiv Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The analysis of organizational and guiding documents concerning the functional responsibilities of institutions and organizations of Ukraine, to carry out special measures to improve safety and strengthen protection at sea in compliance with the requirements of international conventions.

Key words: accident, ship power equipment, maritime safety, safety management system.

УДК 65.9

ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР І ЙОГО ВПЛИВ НА АВАРІЙНІ ВИПАДКІ ОБЛАДНАННЯ СЕУ

Кісстов Ю. В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

kisetov499@ukr.net

Кукліна О. Ю.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

olga11kuklina@gmail.com

Анотація. Аналіз впливу людського фактору на аварійність суден подає важливу інформацію стосовно розробки можливих напрямів і мір стосовно зменшення аварій і їх наслідків. Він дозволяє виявити загальні тенденції і фактори, які можливо використовувати в практиці проектування, розробки нормативних матеріалів, методичних документів тощо.

Ключові слова: аварія, вплив людського фактору, безпека мореплавства, система управління безпекою, технічний стан судна.

Традиційний погляд на питання безпеки мореплавства базується на залежності виникаючих аварійних випадків від технічних і технологічних умов експлуатації судна. В останній час до такого однобічного підходу спеціалісти стали додавати так званий людський фактор та його організаційно-технологічні і природно-оточуючі складові [1].

Процеси сертифікації суден, судового обладнання, кваліфікації екіпажів дуже складні, не в достатній мірі охоплюють всі аспекти процесів контролю і управління безпеки мореплавства. Наприклад, перевірка судна та екіпажу згідно Міжнародному кодексу по управлінню безпекою проводиться один раз на рік, а зміни екіпажу (частково або повністю можуть здійснюватися частіше тощо). У безпечній експлуатації судна зацікавлений увесь спектр учасників мореплавства: судновласники, відправники вантажів, фрахтувальники, страховики, а також контролюючі і виконавчі органи держави, які працюють в галузі транспорту (Регістр, служби портів тощо) [2-4]. Державний контроль придатності судна до плавання, правильності завантаження, технічного оснащення, перевірки відповідності вимогам нормативних документів професіоналізму і компетентності екіпажу грає важливу роль. У відповідних органах накопичується інформація стосовно причин і факторів формування аварійних ситуацій, що дає змогу розробляти подальші заходи.

Нажаль, на практиці процедура сертифікації на відповідність Конвенціям МКУБ і ISO 9002 може існувати як формальність, без якої неможливо існування судна на фрахтовому ринку. Не виключені ситуації, коли технічний стан і безпека судна підтримуються на мінімальному рівні, який дозволяє отримати дозвільні документи. Внаслідок цього рівень технічного стану не тільки корпусу судна, його енергетичної установки, засобів навігації тощо, а також відповідність підготовки екіпажу згідно нормативів згаданих вище Конвенцій є гарантовано недостатньо. Така ситуація можлива, тому що в процесі перевірки класифікаційні товариства контролюють тільки мінімально необхідні вимоги, нижче яких експлуатація об'єкта технічного регулювання неможлива.

Наприклад, порівняємо дві головні енергетичні установки: першу – віком коло 20 років на межі діючих норм зі старим, морально застарілим складом обладнання і другу – нову з сучасним вискоєфективним високо надійним автоматизованим обладнанням. Остання істотно знижує роль людського фактора в процесі виникнення і усунення наслідків аварій і відмов. Але у випадку мінімальної відповідності вимог класифікаційного товариства обидва судна будуть рівноцінні з точки зору отриманих свідоцтв. Тому деякі судовласники не намагаються підвищувати ступень безпеки судна понад мінімальні нормативи, а сподіваються на те, що у випадку загибелі або пошкоджень судна отримають компенсацію від страхових компаній.

Якщо в основу класифікації по видам небезпеки (видам аварійних випадків) покласти таке становище судна, коли утворюється реальна загроза його безпеки або втрати морехідних якостей, то з урахуванням рекомендацій [2,4] можна виділити такі основні види небезпеки:

- пошкодження корпусу і порушення його цілісності внаслідок впливу зовнішніх екстремальних експлуатаційних навантажень (хвильові, льодові, контакт з притопленими плаваючими об'єктами), перекидання або надмірний нахил тощо;

- затоплення судна (втрата плавучості) внаслідок порушення герметичності корпусу, корозійних пошкоджень тощо, які не пов'язані з впливом екстремальних експлуатаційних навантажень;

- втрата ходу и керованості внаслідок відмови обладнання енергетичної установки, валопроводу, стерна;

- контакт з зовнішніми об'єктами – навігаційні причини (навал, зіткнення, посадка на мілину) внаслідок форс мажорних обставин, помилок системи судноводіння, відмов навігаційного обладнання, помилок лоцмана або системи керування рухом судна, впливом іншого судна або об'єкта, що рухається, недостатнього картографічного забезпечення;

- пожеж або вибух в приміщеннях судна, внаслідок замикання електропроводки або загорянням електроприладів, небезпечним поведженням з вогнем, проведенням зварювальних робіт, попаданням палива на гарячі поверхні працюючого двигуна або вибух пари масла в картері, самозапалювання вантажів або інших пожежонебезпечних речовин.

На наш погляд, серед головних причин аварійності треба відмітити економічні фактори з великою долею впливу людського фактору. Договір на перевозку жорстко відображає умови сплати, які складаються в тому числі з зарплатні екіпажу, витрати на паливо, час доставки вантажу тощо. В умовах необхідності підвищення наведених витрат наприклад внаслідок погіршення стану погоди, економічна складова ефективності перевезень для екіпажу знижується. З другого боку, деякі спеціалісти мають уявлення, що обладнання суден, і в першу чергу елементи пропульсивного комплексу розраховуються з достатніми запасами міцності і деяке перевищення технічних норм їх експлуатації безпечно. Результатом такого уявлення стає прийняття недостатньо обґрунтованих ризикових рішень стосовно вибору режимів навантажень обладнання. Наприклад в рекомендаціях, які наведено в [5], при підході судна до зони підвищеного хвилювання необхідно проведення навчань стосовно дій при можливих аварійних ситуаціях, своєчасного надання команди на зниження частоти обертання головного двигуна. Однак найбільш небезпечне – це, коли вмикається захист головного двигуна по перевищенню обертів. Головний двигун аварійно зупиняється, після чого може не запуститися. Тому головне – забезпечення мінімально сталих оборотів двигуна для забезпечення керованості судна. Також рекомендовано виключення практики відходу судна від причалу без перевірки пуску та реверса головного двигуна, або кожного із головних двигунів. Якщо такі випадки і мають місце, то капітан повинен обов'язково попередити лоцмана, що головні двигуни не апробовані, зробити про це запис до суднового та машинного журналів, заказати додаткове буксирне забезпечення [5]. Також необхідно передбачити можливі дії на випадок відмови пуску головних двигунів .

ВИСНОВКИ. Аналіз впливу людського фактору на аварійність суден подає важливу інформацію стосовно розробки можливих напрямів і мір стосовно зменшення аварій і їх наслідків. Він дозволяє виявити загальні тенденції і фактори, які можливо використовувати в практиці проектування, розробки нормативних матеріалів, методичних документів тощо. В процесі прийняття рішень о відповідності судна і його обладнання вимогам безпеки (з урахуванням людського фактору) необхідно враховувати низку факторів, серед яких важливу роль відіграють ті, які ми відносимо до людського фактору:

- ефективність системи обліку, розслідування аварій, збору даних стосовно аварійності суднового обладнання;

- наявність заходів по запобіганню аварій, в тому числі обов'язкові тренування екіпажів, виконання вимог інструкцій заводів-виробників енергетичного обладнання;
- рівень організації технічного обслуговування і ремонту обладнання.

Література:

1. Борисов Р. Статистика и прогнозирование аварийных случаев с судами. «Морские вести России», 2005, № 9-10.
2. Емельянов М.Д. Безопасность морского транспорта России. «Транспорт Российской федерации», №2 (15), 2008, с.38-43.
3. Шурпак В.К. Аварийность на судах. Технология технического наблюдения, С.-Петербург, «Атомная стратегия», Изд-во «ОВИЗО», №48, 2010, с.15-19.
4. Волков Г. Три уровня безопасности мореплавания. http://www.morvesti.ru/analytics/index.php?ELEMENT_ID=15333
5. «Кодекс торговельного мореплавства України», «Відомості Верховної Ради України», 1998, №2.

HUMAN FACTOR AND ITS INFLUENCE ON SEU EQUIPMENT ACCIDENTS

Kisietov J. V., candidate of technical sciences, Associate Professor of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

Kuklina O. J., candidate of technical sciences, Associate Professor of Computer Integrated Technologies and Engineering Graphics

Mykolayiv Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The analysis of the impact of the human factor on ship accidents provides important information on the development of possible directions and measures to reduce accidents and their consequences. It allows you to identify general trends and factors that can be used in the practice of design, development of regulatory materials, methodological documents and more.

Key words: accident, influence of human factor, safety of navigation, safety management system, technical condition of the vessel.

УДК 65.9

ВИЗНАЧЕННЯ ОБҐРУНТОВАНОЇ ВАРТОСТІ РЕМОНТУ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Кісстов Ю. В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

kisetov499@ukr.net

Кукліна О. Ю.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

olga11kuklina@gmail.com

Анотація. Розглянути деякі специфічні особливості визначення вартості ремонту суднового обладнання після аварій, яка буде відшкодована у вигляді страхової виплати з урахуванням умов договорів каско-страхування суден.

Ключові слова: витрати на ремонт, суднове енергетичне обладнання, каско-страхування, страхова виплата.

Проблеми обґрунтування вартості ремонтів елементів суднового обладнання має важливе значення при розв'язанні широкого кола задач їх проектування і експлуатації. Це, наприклад, питання визначення:

- витрат, пов'язаних з планово-профілактичними ремонтами або плановим поновленням судна;
- витрати на технічне обслуговування та гарантійний ремонт;
- витрати на роботи, пов'язані з реконструкцією чи переобладнанням;
- витрати на ремонт чи заміну окремих частин, деталей та устаткування у зв'язку із зносом, технічним браком, моральним старінням;

- витрати із заміни окремих вузлів, деталей і агрегатів після аварійних випадків тощо. Серед найчастіших аварійних випадків, які мають місце під час експлуатації (зіткнення, штормові пошкодження, пожежі, вибухи, тощо) найбільша (близько 22%) доля вартості усунення наслідків приходить на поламки механізмів і обладнання[1,2].

Окрему специфіку мають питання визначення розміру страхового відшкодування після аварії судна і наступного ремонту. Слід вважати, що положення договорів і правил каско-страхування передбачають деякі додаткові умови, які суттєво впливають на вартість

ремонту, яка буде відшкодована у вигляді страхової виплати. Витрати на ремонт, що відшкодовуються, як правило не включають:

- а) витрати, пов'язані із зміною та/або покращенням характеристик корпусу судна або гвинто-стернового комплексу, машин та обладнання;
- б) витрати, пов'язані з планово-профілактичним ремонтом або плановим поновленням судна;
- в) витрати на технічне обслуговування та гарантійний ремонт;
- г) витрати на роботи, пов'язані з реконструкцією чи переобладнанням;
- г) витрати на ремонт чи заміну окремих частин, деталей та устаткування у зв'язку із зносом, технічним браком, моральним старінням;
- д) витрати із заміни окремих вузлів і агрегатів в зборі за відсутності необхідних запасних частин та деталей;
- е) непрямі витрати, такі, як плата за оренду, лізинг, штрафні санкції, виставлені Страхувальнику за несвоєчасну оплату ремонтних робіт.

Страхове відшкодування не розповсюджується на фінансові аспекти і наслідки аварійної затримки рейсу, простоїв судна. У кожному випадку страховою компанією ретельно визначається доцільність витрат, які судновласник робив з метою прискорення ремонту оплати наднормових витрат, оплати прискореної доставки запасних частин тощо. Але, якщо такі витрати скорочують загальну вартість ремонту (наприклад, наднормові роботи скорочують час знаходження судна в доці), такі витрати додаються до складу страхового відшкодування.

ВИСНОВКИ. На прикладі математичних моделей, які розроблялися авторами, наведено рекомендації для розрахунків і прогнозування складових витрат на ремонт і технічне обслуговування елементів суднового енергетичного обладнання.

Література:

1. Кісетов Ю.В. Проблеми визначення вартості суднового енергетичного обладнання [Текст]/ Кісетов Ю.В., Ратушняк І.О., Л.П. Ратушняк // «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці»: матеріали VI-ої міжнародної наук.-техн. конференції – Миколаїв: НУК–2015. – С. 160-162.
2. Кісетов Ю.В. Проблеми визначення вартості ремонту обладнання СЕУ в процесі експлуатації [Текст]/ Кісетов Ю.В., Ратушняк І.О. // «Проблеми розвитку регіону: промисловий і економічний аспект».: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції – Первомайськ, ППІ НУК, 2016. – С. 52–54.

DETERMINATION OF THE REASONABLE COST OF REPAIR OF SHIP EQUIPMENT

Kisietov J. V., candidate of technical sciences, Associate Professor of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

Kuklina O. J., candidate of technical sciences, Associate Professor of Computer Integrated Technologies and Engineering Graphics

Mykolayiv Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Consider some specific features of determining the cost of repair of ship equipment after accidents, which will be reimbursed in the form of insurance payment, taking into account the terms of comprehensive insurance contracts for ships.

Key words: repair costs, ship power equipment, hull insurance, insurance payment.

УДК 629.12.06

АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ДВИГУНІВ

Костромін М. О.

магістр гр.6214м, НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М.С.

*к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. В роботі розглядаються основні тенденції вдосконалення двигунів внутрішнього згоряння для забезпечення вимог екологічних стандартів. У числі головних напрямків аналізується наступне: вдосконалення протікання робочих процесів в циліндрах; розвиток конструкцій систем і технологій, що впливають на токсичність відпрацьованих газів; використання альтернативних видів палив для скорочення шкідливого впливу двигуна на довкілля.

Ключові слова. Двигунобудування, вимоги екологічної безпеки, організація робочого процесу двигуна, закон подачі палива, система газорозподілу.

Актуальність. Сучасне дизелебудування розвивається в напрямку досягнення максимальної екологічної безпеки двигунів. Постійне підвищення вимог екологічних стандартів змушує виробників забезпечувати ці вимоги, не зважаючи навіть на можливі втрати в паливній економічності і збільшення вартості, маси і габаритів агрегатів. Ця тенденція простежується в матеріалах 28 конгресу *SIMAC* (червень 2016 р.).

Розвиток технологій скорочення шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів суднового призначення був прискорений в зв'язку з введенням регулювання *Tier III* Міжнародною морською організацією *IMO*. Регулювання передбачає поетапне скорочення викидів:

– парникових газів шляхом введення індексу енергоефективності – *Energy Efficiency Design Index – EEDI* (починаючи з 2013 р.);

- оксидів сірки – *SOx Emission Control Areas – SECA* (з 2015 р.);
- оксидів азоту – *NOx Emission Control Areas – NECA* (з 2016 р.)
- посилення вимог до обмеження викидів твердих частинок.

Розробки в області досягнення високих екологічних параметрів сучасних двигунів регламентуються цілим рядом нормативних документів, таких як *EU Stage IV*, *EPA Tier IV* і ін.

На основі аналізу діяльності виробників в даній області визначаються наступні основні напрямки вдосконалення конструкції двигунів:

- удосконалення робочих процесів, що протікають в циліндрах, включаючи коректне автоматичне керування процесами згоряння з формуванням закону подачі палива і забезпеченням відповідних умов протікання процесів згоряння;
- розробку конструкцій периферійних пристроїв і технологій для очищення відпрацьованих газів;
- розробку конструкцій двигунів, які передбачають використання альтернативних видів палив для скорочення шкідливого впливу на довкілля.

Напрямки вдосконалення.

2. *Тенденції розвитку конструкцій.* На прикладах публікацій провідних виробників двигунів внутрішнього згоряння відслідковуються можливості досягнення необхідних параметрів екологічної безпеки енергетичних установок. Тут необхідно відмітити хід виконання програми *HERCULES*, що представляє комплексний науково-дослідний проект зі створення високоефективних та екологічно безпечних суднових двигунів. Цей проект здійснюється з 2004 р. по теперішній час за участю фірм *MAN* і *Wärtsilä*.

Попередні підсумки виконання проекту були підведені в 2014 р. В якості головних досягнень відзначається збільшення ККД двигуна на 3% і зниження викидів *NOx* на 80%.

1. *Удосконалення протікання внутрішніх процесів в циліндрах.* Найбільш ефективним шляхом вирішення проблем екологічної безпеки двигуна є така організація його робочого процесу, яка визначає інтенсивність утворення шкідливих речовин.

Викиди твердих частинок ініціюються процесами утворення сажі, на поверхні якої абсорбуються шкідливі речовини, що являються продуктами неповного згоряння палива. Скорочення викидів твердих частинок може бути досягнуто шляхом збільшення дисперсності розпилювання палива за рахунок підвищення тиску уприскування і більш рівномірного розподілу палива в об'ємі камери згоряння.

Нормованим шкідливим продуктом у відпрацьованих газах дизельного двигуна є оксиди азоту *NOx*, утворення яких також безпосередньо пов'язане з умовами протікання

процесу згоряння. Скорочення питомих витрат палива призводить до підвищення динаміки процесу виділення тепла і, як наслідок, зростання максимальної температури в циклі, від якої залежить термічний ККД циклу. Швидкість зростання температури робочого тіла при згорянні палива в ДВЗ визначає кількість утворених оксидів азоту, різке зниження температури газів на такті розширення не залишає часу на протікання реакцій відновлення NO_x . Вміст у відпрацьованих газах оксидів сірки залежить від складу палива і не залежить від протікання робочих процесів в циліндрі.

Таким чином, організація малотоксичних робочих процесів в циліндрі в залежить від управління подачею палива, визначає динаміку процесу виділення тепла. Це успішно вирішується в електронно-керованій акумуляторній системі *Common Rail Systems (CRS)*, здатної забезпечувати багатоступінчасте упорскування палива і реалізувати практично будь-який закон тепловиділення і вже сьогодні, здатної забезпечувати вимоги *EU Stage IV* і *EPA Tier IV*.

Розробками *CRS* для двигунів суднового призначення зайняті фірми *L'Orange GmbH*, *Ganser CRS AG* і ін., а також провідні виробники двигунів. Фірма *MAN Diesel & Turbo SE* має великий досвід розробки і виробництва *CRS* для середньообертових двигунів, проводить роботи по створенню нової модульної системи *MCRS 2.2* з тиском в рампі до 220 МПа. Аналогічні роботи проводить світовий лідер у виробництві суднових двигунів – фірма *Wärtsilä*.

Істотним моментом організації робочого процесу дизельного двигуна є забезпечення спеціальних умов протікання згоряння циклової подачі палива в камері згоряння – використання методів стримування зростання температури робочого тіла в циліндрі. На думку фахівців *MTU*, ефективним способом скорочення викидів оксиду азоту є використання внутрішнього охолодження свіжого заряду (циклу Міллера) в поєднанні з двоступінчастим наддувом.

Впровадження системи електронного управління зміною фаз газорозподілу – *Variable Valve Timing (VVT)* забезпечує пристосованість двигуна до всіх режимів роботи – дозволяє поліпшити процеси наповнення циліндра свіжим зарядом на всіх експлуатаційних режимах роботи, вирішувати проблеми реалізації циклу Міллера і оптимізації умов роботи ГТН.

Розвиток конструкцій периферійних пристроїв і технологій. Досягнення вимог *IMO Tier III* і *Tier IV* практично неможливе без використання периферійних пристроїв, що забезпечують додаткове зростання показників екологічної безпеки дизельного двигуна, які, дозволяють змінювати склад свіжого заряду циліндра, роблять додаткове очищення відпрацьованих газів від шкідливих компонентів перед викидом в атмосферу.

Широке поширення в конструкціях двигуна отримують системи рециркуляції відпрацьованих газів *Exhaust Gas Recirculation (EGR)* з електронно-програмним керуванням. Завдяки змішуванню свіжого повітря, що подається в циліндр, з відпрацьованими газами відбувається зниження концентрації вільного кисню O_2 і збільшується маса вуглекислого газу CO_2 в свіжому заряді циліндра. Спільний вплив цих двох факторів викликає зниження максимальної температури в камері згоряння як за рахунок зниження швидкості горіння через низьку концентрації O_2 , так і за рахунок високої теплоємності CO_2 . В результаті забезпечується скорочення концентрації термічного NO_x у відпрацьованих газах двигуна. Габарити потужних стаціонарних і суднових двигунів дозволяють мати достатні габарити системи *EGR* для уникнення ризиків накопичення відкладень у впускних каналах. Тут існує можливість використання скрубєрів і провести очищення газів системи рециркуляції. Реалізацією систем *EGR* для потужних МОД займається фірма *Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co. Ltd. (MHI-MME)*

Ефективність роботи системи *EGR* на всіх режимах роботи двигуна знижується через зменшення коефіцієнта надлишку повітря в камері згоряння. Тому разом з рециркуляцією відхідних газів в конструкції великорозмірних двигунів доцільно використовувати пристрої селективного каталітичного відновлення – *Selective Catalytic Reduction (SCR)*, які широко апробовані в автомобільній промисловості. В даний час ці агрегати інтегровані в конструкцію двигуна. Фірма *MAN Diesel & Turbo* розробила систему, названу по аббревіатурі фірми *MDT*.

Інтерес викликають роботи фірми *Wärtsilä* по установці каталітичних пристроїв між ступенями турбіни в двоступінчатому наддуві з метою підвищення температури газу і поліпшення керованості процесів в *SCR*.

Скорочення емісії сполук сірки з відпрацьованими газами дизельних двигунів також є важливим завданням, яке традиційно вирішується установкою скрубєрів.

Використання альтернативних видів палива. Альтернативні палива для двигунів традиційно розглядалися з позицій скорочення експлуатаційних витрат. Новий погляд на альтернативні палива продиктований вимогами екології. Наразі природний газ розглядається як екологічно чисте паливо, яке може забезпечити вимоги щодо викидів: оксидів сірки через відсутність сірки в природному газі; вуглекислого газу; незгорілих вуглеводнів і твердих частинок.

Розробками в галузі використання газового палива зайняті і спеціалізовані фірми, що займаються виробництвом паливної апаратури *L'Orange GmbH, Robert Bosch Diesel Systems* і ін.). Успішне комерційне впровадження отримують як двопаливні системи низького тиску

газу (*LP-Gas*), що реалізують гомогенний процес згоряння палива, так і системи газу високого тиску (*HP-Gas*) зі згорянням гетерогенної суміші. Значний інтерес проявляється також до інших нетрадиційних видів палива. Фірма *Wärtsilä* запропонувала систему уприскування метанолу. Фахівці фірми відзначають також, що додавання водню до газового палива сприяє збільшенню ККД двигуна і зниженню шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Висновки. Проблеми забезпечення екологічної безпеки стали пріоритетними для провідних виробників, створили окремий напрямок розвитку дизельних двигунів. Створення екологічно безпечних двигунів пов'язане зі спеціальною організацією робочого процесу; розробкою периферійних пристроїв і технологій, що забезпечують досягнення вимог екологічних стандартів; розробкою двигунів, здатних використовувати нетрадиційні види палив.

Література:

1. Живлюк Г. Е. Состояние и перспективы совершенствования систем топливоподачи Common Rail / Г. Е. Живлюк, А. П. Петров // Вестник ГУМРФ – 2016. – № 1 (35). – С. 108–123.
2. Иванченко А. А. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов / А. А. Иванченко, А. П. Петров, Г. Е. Живлюк // Вестник ГУМРФ – 2015. – № 3 (31). – С. 103–112.

ANALYSIS OF MEASURES FOR THE USE OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ENGINES IN MARINE ENERGY

M.Kostromin, M. Bondarenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The paper considers the main trends in the improvement of internal combustion engines to meet the requirements of environmental standards. Among the main areas analyzed are the following: improving the flow of work processes in the cylinders; development of designs of systems and technologies that affect the toxicity of exhaust gases; use of alternative fuels to reduce the harmful effects of the engine on the environment.

Keywords. Engine construction, environmental safety requirements, organization of the engine working process, the law of fuel supply, gas distribution system.

УДК: 621.431

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ВИСОКОВ'ЯЗКОГО ПАЛИВА ГД ТАНКЕРА NICOS I.V.

Поляруш О. Г.

магістр гр.6214мз, НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М.С.

*к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Розглянуті питання поліпшення експлуатаційних показників енергетичної установки танкера NICOS I.V. шляхом проведення комплексної обробки паливно-мастильних речовин за допомогою відповідних систем підготовки і очищення.

Ключові слова. Підігрівачі палива, відстійні цистерни, сепаратори, фільтри, гомогенізатори, пристрої для введення хімічних присадок.

Актуальність. Експлуатаційні показники суднової ЕУ, надійність і ефективність її роботи можуть бути помітно поліпшені шляхом проведення комплексної обробки паливно-мастильних речовин за допомогою відповідних систем підготовки і очищення, що складаються з відстійних цистерн, підігрівачів, відцентрових сепараторів, фільтрів, гомогенізаторів, пристроїв для введення хімічних присадок тощо. Необхідність і важливість проведення робіт з підготовки до використання палива підтверджуються вимогами Правил технічної експлуатації дизелів. У процесі підготовки палива до спалювання проводиться очищення його від домішок води, сполук сірки, солей різних металів, механічних домішок. Підготовка палива здійснюється тепловою обробкою, відстоюванням, сепарацією, фільтрацією і гомогенізацією. На більшості суден встановлена паливна система, рекомендована СІМАС, конфігурація якої найближчим часом залишається незмінною [1,2]. В ній використовуються наступні заходи.

Відстій і сепарація палива є традиційними, найбільш часто використовуваними способами очищення дизельних і важких палив в суднових умовах. Метод сепарації має недоліки – зниження механічних домішок і води супроводжується втратами горючої частини палива (важких її компонентів). Ці втрати можуть досягати 2...3% (в ряді випадків до 6...8%). Крім того, підігрів палива підсилює окислювальні процеси, в результаті чого в паливі підвищується вміст смолистих речовин. В останні роки в зв'язку зі збільшенням густини застосовуваних палив метод сепарації втрачає своє значення як універсальний метод. Це пояснюється складністю відділення води від палива (густина яких мало відрізняється) і зміною ставлення експлуатаційників до вмісту води в паливі.

Очищення палива сепараторами не виключає необхідності застосування *фільтрування*. Це пояснюється тим, що механічні частинки, розмір яких коливається від 1 до 10 мкм, не відокремлюються при сепаруванні.

Поряд з традиційною обробкою палива широко застосовують нові методи обробки (найчастіше їх використовують спільно):

хімічну – введенням в паливо композиційних присадок;

гідродинамічну – вплив на паливо ультразвукових і кавітаційних сил;

магнітну – вплив на паливо змінного або постійного магнітного поля.

Хімічна обробка. В паливо вводять композиції присадок з різними функціями або окремими функціями. Присадки, що знижують випаровуваність палива і поліпшують його низькотемпературні властивості, доцільно вводити при бункеровці судна. Присадки, що знижують схильність палива до утворення осадів, також доцільно вводити при бункеровці або безпосередньо в танки запасу відразу ж після завершення процесу бункерування.

Присадки, що захищають паливну апаратуру від корозії і утворення лакових плівок, а також присадки, що покращують згоряння і запобігають утворенню екологічно небезпечних речовин в процесі згоряння, слід вводити перед подачею палива до двигуна.

Гідродинамічна обробка. Полягає в диспергуванні крупних частинок в паливі і зниженні молекулярної ваги вуглеводню. Обробка здійснюється за рахунок кавітації і градієнта швидкостей в потоці палива. Залежно від пристроїв, які використовуються для гідродинамічної обробки використовують наступні види гомогенізатори: клапанні; соплові; ультразвукові; роторні; магнітно-соплові; вихрового шару. У сучасній практиці дизелебудування фірми допускають застосування гомогенізаторів в контурі підведення палива до двигуна.

Використання магнітних полів з метою гомогенізації палива дозволяє отримати мілко дисперсну двофазну систему вода-паливо. Застосування цього методу дозволяє спалювати в дизелі обводнених паливо. Технологія обробки палива зазвичай включає два етапи: обробка, що проводиться відразу ж після прийому палива в танки запасу і обробка, що проводиться безпосередньо перед подачею в витратну цистерну для забезпечення роботи дизеля.

Рекомендована схема. Одним із дієвих способів підвищення надійності паливної апаратури суднових дизелів є *кавітаційна обробка* палива в системі подачі палива, яка найбільш ефективна при використанні в дизельних двигунах високов'язких мазутів.

Досвід експлуатації дизелів на важких сортах дизельного палива виявив ряд істотних недоліків: погіршення організації робочого процесу в циліндрах дизеля; зростання кількості

відкладень нагару на робочих поверхнях розпилювачів форсунок і ЦПГ; збільшення зносу деталей ЦПГ паливної апаратури і газовипускної системи дизеля; підвищення токсичності вихлопних газів.

Рядом досліджень і результатами тривалої експлуатації дизелів обґрунтована необхідність включення в систему підготовки палива гідродинамічних пристроїв. В якості пристрою по кавітаційній обробці палива пропонується «Генератор кавітації» [3], який забезпечує виникнення режиму ультразвукової кавітації за рахунок перепаду тисків на вході і виході пристрою (рис. 1).

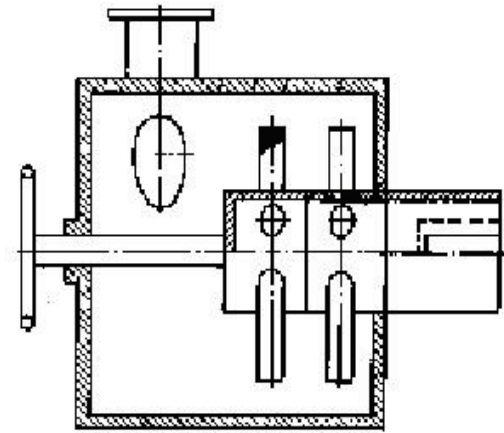


Рис. 1. Генератор кавітації

Пристрій «Генератор кавітації» дозволяє обробляти різні рідини з підвищеною їх витратою, при цьому має просту технологію виготовлення і можливість застосування при безпосередній підготовці і подачі палива в ДВЗ. Залежно від тиску подачі палива (тиск від 2 до 500 бар) може забезпечити різні генеровані частоти – від 1 кГц до 20 МГц. При обробці дисперсних систем з розміром включень до 100 мкм розміри включень знижуються до 5 мкм. При обробці водо-паливних емульсій стабільність отриманих систем складала більше 30 діб.

Очищення палива від сірки. Наразі на судах морського флоту застосовуються дизельне паливо і мазут різних марок. До складу палива входять сірка і її сполуки (меркаптани, сульфіді, дисульфіді тощо). Дані елементи погіршують експлуатаційні якості і екологічність СЕУ, а також знижують її ресурс. Жорсткість норм по змісту сірчистих сполук у складі дизельних палив і мазуту вимагає поглиблення очищення палива і введення в нього модифікуючих присадок, а, відповідно, і додаткових витрат на виробництво. Цей фактор значно впливає на вартість палива, а також на скорочення природних ресурсів. Тому в певній кількості сірка завжди присутня практично у всіх комерційних паливах. Провести очищення палива в суднових умовах від розчинених в ньому домішок, а також від небажаних елементів, які знаходяться в молекулярних зв'язках, досить складно.

Для вирішення проблеми пропонується технологія очищення палива в апараті вихрового шару (АВШ) – створення високоякісної водо-паливної емульсії (ВПЕ). Ефективність застосування ВПЕ вже не раз підтверджувалася дослідженнями багатьох авторів.

На рис. 2 приведена принципова схема установки приготування палива, рекомендована для ГД танкера. Частини системи згруповані в три пов'язаних блоки: підготовки води; обводнення палива в АВШ; додаткового обводнення палива.

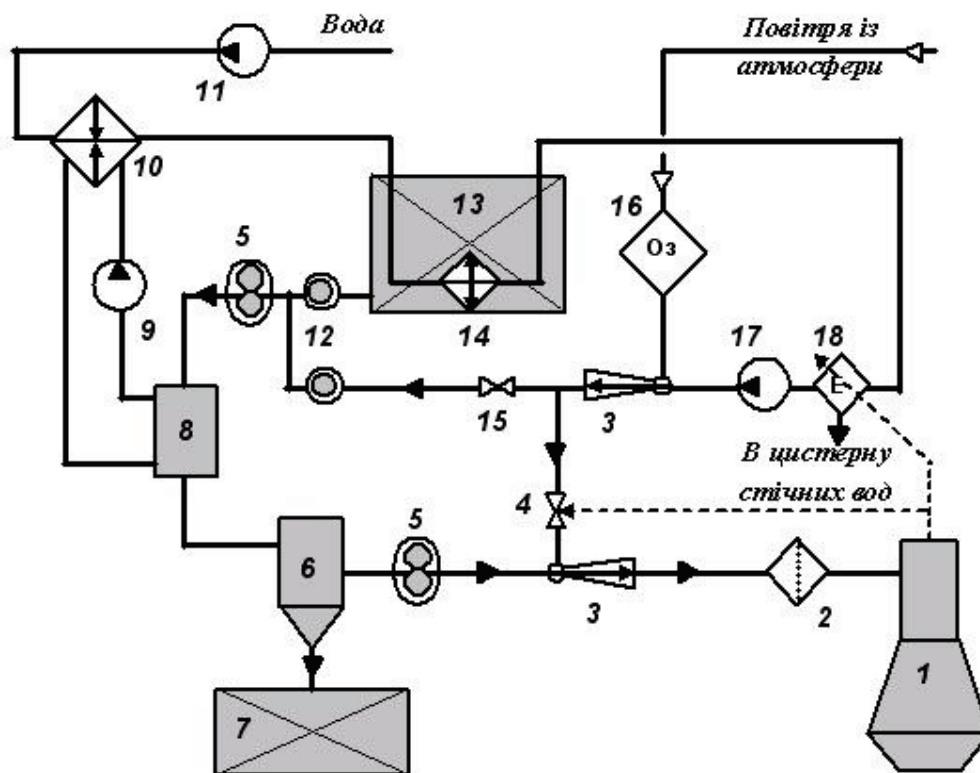


Рис. 2. Схема установки для підготовки палива

- 1 – головний двигун; 2 – паливний фільтр тонкого очищення;
 3 – ежектори; 4 – клапан регулюючий; 5 – насоси шестеренні;
 6 – гідроциклон; 7 – ємність для збору шламу; 8 – апарат вихрового шару; 9 – насос відцентровий; 10 – теплообмінник водо-масляний; 11 – насос циркуляційний; 12 – витратоміри; 13 – ємність витратного палива;
 14 – теплообмінник; 15 – клапан запірний; 16 – озонатор;
 17 – насос відцентровий; 18 – електролізер.

Установка підготовки палива для дизелів включає обладнання, за допомогою якого вдається вирішувати такі проблеми установок, як низька стійкість водо-паливної емульсії, необхідність використання поверхнево-активних речовин тощо.

Література:

1. Добровольский В.В., Солодовников В.Г. Энергетическая эффективность топливных систем современных транспортных судов, работающих на высоковязких сортах тяжелых топлив вязкостью 380 мм²/с и выше // Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 32. – Одесса: ОНМА, 2013, с. 101-112

2. Добровольский В.В., Ханмамедов С.А. Подготовка вязких топлив судовых малооборотных двигателей // Судовые энергетические установки: научно-технический сборник. Вып. 26. – Одесса: ОНМА, 2010. –с. 46-55

3. Кардаков А. А. Повышение надежности топливной аппаратуры дизелей кавитационной обработкой топлива // Журнал университета водных коммуникаций . Выпуск 2 (10), 2011, с.43-46

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE HIGH-VISCOSITY FUEL PREPARATION SYSTEM OF THE MAIN ENGINE OF THE TANKER NICOS I.V.

O. Poliarush, M. Bondarenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The issues of improving the operational performance of the power plant of the tanker NICOS I.V. by conducting a comprehensive treatment of fuels and lubricants using appropriate systems of preparation and purification.

Keywords. Fuel heaters, settling tanks, separators, filters, homogenizers, devices for the introduction of chemical additives.

УДК 629.5

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ДИЗЕЛІВ

Булгаков М.П.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної
морської академії*

м. Херсон, Україна

npbulgakov2@gmail.com

Дерменжи М.П.

*аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної
морської академії*

м. Херсон, Україна

kexpistol@ro.ru

Анотація. Розглядаються методи діагностування паливних систем дизелів за вібрацією, температурними показниками та осцилограмами тиску у трубопроводі. Наведений приклад аналізу та послідовність діагностування паливної системи за осцилограмою тиску. Показано, що по розташуванню характерних точок на діаграмах тиску палива й ходу голки можна визначити технічний стан насоса й форсунки.

Ключові слова: паливна апаратура, тиск, осцилограма тиску, форсунка, голка

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%.

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, нерівномірного 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.

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.

Результати досліджень. Робота двигуна внутрішнього згоряння, 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.

Спосіб діагностування паливної апаратури за зміною температури деталей. Відомо, що в процесі подачі палива трубопровід, що з'єднує насос високого тиску з форсункою, нагрівається. Температура нагріву залежить від тертя палива об 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.

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 за зміною температури [1]. 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 [2].

На діаграмі руху (ходу) голки (рис.1) 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.

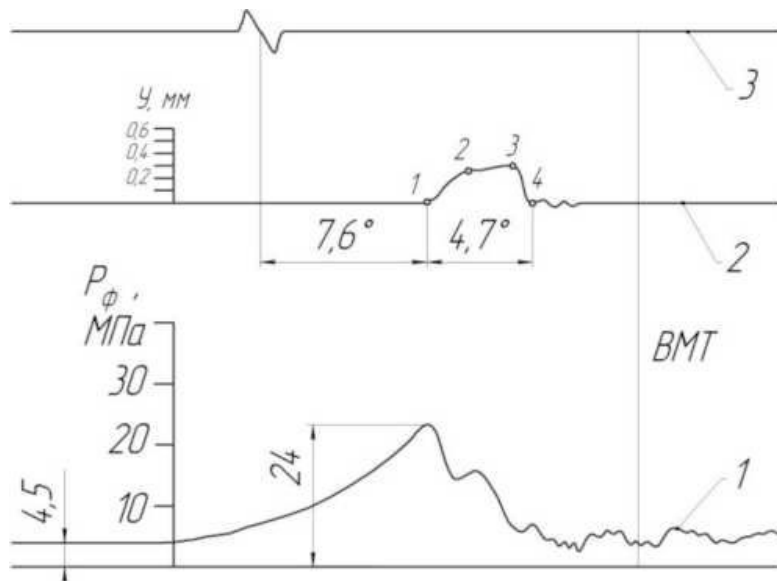


Рисунок 1. Осцилограми тиску в трубопроводі біля форсунки (1), руху (ходу) голки розпилювача (2), оцінка геометричного початку подачі палива (3) і сигнал ВМТ

Пропонується наступна послідовність діагностування за аналізом ходу голки розпилювача:

– для паливної апаратури, параметри якої відповідають вимогам заводу-виготовлювача, на режимі холостого ходу або номінальної потужності фіксується хід голки;

— 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 [3].

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. Обозов А.А. Развитие методов и систем технического диагностирования / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2012. – № 4 (250). – С. 30-34.
2. 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

ANALYSIS OF DIAGNOSTIC METHODS FOR DIESEL FUEL SYSTEMS

Bulgakov Mykola Petrovych, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

Dermenzhi Mykyta Petrovych, Post-graduate student of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

Abstract. Methods for diagnostics of diesel fuel systems by vibrations, temperature indicators and pressure oscillograms in the pipeline are considered. An example of analysis and a sequence of diagnostics of the fuel system based on the pressure oscillogram are given. It is shown that by the location of characteristic points on the fuel pressure and needle movement diagrams, it is possible to determine the technical condition of the pump and injector.

Key words: fuel equipment, pressure, pressure oscillogram, injector, needle movement

УДК 621.181.27 (075.8)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ ДЕДВЕЙТОМ 42000 т ШЛЯХОМ ПРИВЕДЕННЯ ДО ВІДПОВІДНОСТІ ДІЮЧИМ ВИМОГАМ ІМО

Короленко В.Л.

студент магістратури

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Чередніченко О.К.

*доктор техн. наук, професор кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Виконаний аналіз складу суднових енергетичних установок контейнеровозів дедвейтом 42000 т. для приведення їх характеристик до діючих вимог ІМО запропоновано спосіб інтенсифікації процесів теплопередачі в утилізаційних котлах. Отримано, що завдяки запропонованому рішенням можливе зниження індексу *EEDI* на 4...12%.

Ключові слова: контейнеровоз, енергетична установки, ефективність, утилізація, конструктивний індекс енергетичної ефективності судна

На теперішній час контейнерні перевезення є одними з найбільш економічно доречних видів перевезень.

Контейнеровози місткістю до 4400 *TEU* та дедвейтом 42000 т відносять до класу *PANAMAX*. Враховуючи їх розміри, вони ефективно працюють як на локальних так і на океанських лініях, маючи можливість використовувати для проходів Панамський канал.

Головні двигуни енергетичних установок таких суден мають зазвичай потужність до 40000 кВт, у складі суднової електростанції використовуються від 3 до 5 дизель-генераторів потужністю до 2500 кВт кожний. В складі котельної установки здебільшого використовуються комбіновані котли [1]. Можуть використовуватись системи *WHRS* – *Waste Heat Recovery System* [2].

Починаючи з 2010 року *IMO* – *International Marine Organization* – посилювало вимоги до ефективності суднових енергетичних установок з метою зниження їх негативного впливу на навколишнє середовище [3]. Для його оцінки запропоновано конструктивний індекс енергетичної ефективності судна, який розраховується як

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{Transport work}} = \frac{\text{Engine power} \times SFC \times C_f}{DWT \times \text{Speed}},$$

де *Engine power* – експлуатаційна потужність двигунів, кВт; *SFC* – питома ефективна витрата палива двигунів, г/(кВт·год); *C_f* – безрозмірний кореляційний коефіцієнт, величина

якого прямо залежить від вмісту вуглецю у паливі, т CO_2/t ; DWT – для більшості транспортних суден приймається рівним дедвейту, т; $Speed$ – швидкість судна, вуз.

Розрахунок EEDI виконується згідно методики, яка викладена в резолюції ІМО МЕРС.245(66) – 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships, з урахуванням поправок, наданих в резолюціях МЕРС.263(68) і МЕРС.281(70) [4, 5]. Якщо на судні використовуються інноваційні технології, спрямовані на зниження витрати палива при отриманні електричної і механічної енергії, то їх вплив на індекс визначається згідно рекомендації МЕРС.1/Circ. 815 – 2013 [6].

Ефективним способом зниження витрати палива є утилізація теплоти відпрацьованих газів суднових головного та допоміжних двигунів.

В роботі розглянуті способи підвищення ефективності процесів теплопередачі в утилізаційних котлах головного двигуна та приводних двигунів дизель-генераторів. В сучасних котлах подібних систем використовуються теплообмінні поверхні з круглих труб з плоским оребренням. Запропоновано використання еліптичних труб з плоскими ребрами, профільованими лунковими системами. Це дозволяє підвищити ефективність теплопередачі на 14..23% в залежності від швидкості газів на знизити індекс EEDI на 4...12% в залежності від потужності головного двигуна.

Література

1. Significant Ships, (2014-2019). The Royal Institution of Naval Architects. URL: www.rina.org.uk/sigships (дата звернення 06.10.2021).
2. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI 2018. URL: <https://mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/waste-heat-recovery-system.pdf> (дата звернення: 06.10.2021).
3. IMO, 2014. Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. МЕРС.245(66). МЕРС 66/21/Add.1 p:1. URL: <http://www.imo.org/en/OurWorkEnvironment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/MEPC.308%2873%29.pdf> (дата звернення: 06.10.2021).
4. IMO, 2015. МЕРС.263 (68) – Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. – URL: <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee%28MEPC%29/Documents/MEPC.263%2868%29.pdf>. (дата звернення: 06.10.2021)
5. IMO, 2016. МЕРС.281(70) – Amendments to the 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships (Resolution МЕРС.245(66), as Amended by Resolution МЕРС.263(68)). – URL: <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.281%2870%29.pdf>. (дата звернення: 06.10.2021)

6. IMO, 2013. MEPC.1/Circ. 815: Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI. – URL : <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Circ-815.pdf>. (дата звернення: 06.10.2021)

IMPROVEMENT OF THE POWER PLANT OF CONTAINER SHIPS WITH A DEADWEIGHT OF 42,000 TONS BY WAY, BRINGING THEM INTO COMPLIANCE WITH THE CURRENT IMO REQUIREMENTS

Korolenko V.L., Cherednichenko O.K.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of the composition of ship power plants of container vessels with a deadweight of 42,000 tons to bring their characteristics to the current IMO requirements. A method of intensification of heat transfer processes in waste heat boilers is proposed. It is obtained that due to the proposed solution it is possible to reduce the EEDI index by 4... 12%.

Key words: container ship, power plants, efficiency, waste heat recovery, structural index of ship energy efficiency

УДК 629.12(075.4)

IMPROVING THE ENVIRONMENTALITY OF SHIP ENERGY INSTALLATIONS DUE TO THE APPLICATION OF ON-BOARD COOLING SYSTEMS

Volodymyr Kostyrin

Master of SEU and TE operation Department

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Bohdan Lychko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of SEU and TE operation Department

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Oeksiy Gogorenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Internal Combustion Engines, Plants and Technical Maintenance Department

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Cooling systems for marine power plants with onboard heat exchangers have a number of advantages. The use of such heat exchangers eliminates the removal of seawater and its subsequent discharge overboard after heat removal in conventional recuperative heat exchangers. In this regard, there is an increase in the environmental friendliness of ship power plants due to the reduction of harmful effects on the flora and fauna of water bodies.

Key words: air temperature, cooling system, oil cooler, ship power plant, supercharged air cooler.

Instead of traditional recuperative heat exchangers, in cooling systems of ship power plants it is possible to use external surfaces of boards for the purpose of heat removal in seawater. In the part of the ship's side, which is below the waterline, special cavities are organized in a special way (Fig. 1) through which the cooled coolant of the internal circuit is pumped.

Such systems have a real application in marine energy [1] and are called keel cooling systems. In the case where only the sides of the vessel are used, the cooling system with such heat exchangers may be called on-board. The main advantage of using on-board cooling systems is almost zero damage to the environment.

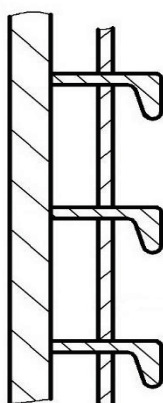


Fig. 1. Fragment of the onboard heat exchanger: 1 – ship hull;

2 – channels for the passage of the coolant; 3 – additional letters; 4 – elements of the hull set

Calculations of onboard heat exchangers can be performed using classical methods [2, 3], which are used in studies of heat transfer processes and fluid motion in the channels. The authors know the works in which closed cooling systems are considered [4], but the given information is not combined with a single system necessary for their use in a specific problem of calculation of onboard heat exchangers and cooling systems. Accordingly, the parameters of individual dependencies used in the calculations of onboard heat exchangers were selected, specified and clarified.

The calculation of the on-board cooling system and all heat exchangers of the ship's power plant should be performed on the basis of the calculation complex, which includes the method of calculating all elements of the system, include the calculation of the system itself. All parts of the complex must be connected to each other and use direct and feedback. An approach to the creation and optimization of the cooling system was developed and relevant studies were conducted on its basis. The parameters of the onboard cooling system are obtained, the optimization is performed on the basis of the developed approach. The parameters of the onboard heat exchangers necessary for

their design received as a result of research do not contradict experience of creation and designing of similar heat exchangers.

References:

1. Application & Installation Guide Cooling Systems, 2016. CAT, Caterpillar, BUILT FOR IT.
2. Теплопередача : учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел [и др.]. – [3-е изд.] – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик [под ред.] М. О. Штейберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с.
4. Федоровский К. Ю. Замкнутые системы охлаждения энергетических установок : монография / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская. – М. : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2018. – 160 с.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

Костирін В. В., Личко Б. М., Гогоренко О. А.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотація. Системи охолодження суднових енергетичних установок з бортовими теплообмінними апаратами мають низку переваг. Застосування таких теплообмінників виключає забирання забортної води і подальше її скидання за борт після відведення тепла в звичайних рекуперативних теплообмінних апаратах. У зв'язку з цим відбувається підвищення екологічності суднових енергетичних установок через зменшення шкідливого впливу на флору і фауну водоймищ.

Ключові слова: охолоджувач масла, охолоджувач наддувного повітря, система охолодження, суднова енергетична установка, температура повітря.

УДК 628.165:621.44

ВПЛИВ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ ТАНКЕРІВ-ПРОДУКТОВОЗІВ ТИПУ PANAMAX НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УСТАНОВКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ У ПІВНІЧНІЙ СУБТРОПІЧНІЙ ТА ТРОПІЧНІЙ ЗОНАХ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

Багрій С. А.

*студент магістратури кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та
теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Науковий керівник: Кузнецова С.А.

*канд. техн. наук, доц. кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та
теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Проведено аналіз систем утилізації сучасних малообертових двигунів фірми MAN B&W. Досліджено використання нових теплообмінних поверхонь, виконаних з еліптичних оребрених труб з застосуванням луночних систем, та ефективність використання таких поверхонь при експлуатації в умовах підвищених температур зовнішнього повітря.

Ключові слова: суднові енергетичні установки, експлуатація, охолоджувач надувного повітря, поверхня теплопередачі, еліптична труба, оребрена поверхня, лунка.

Україна потребує ввезення значної частини енергоресурсів, особливо це стосується нафти для вироблення палива, та рідкого палива. Саме цей від палива є головним як для автомобільного, так і для морського транспорту. Нажаль ні усі морські порти України можуть прийняти великі танкери для перевезення нафти, що мають осадку 15 м та вище. До них за даними АМПУ відносяться морський порт Південний, що знаходиться в Одеській області. Для можливості забезпечення паливом через інші порти країни використовуються судна меншої осадки від 11 до 14 м, що зазвичай можуть використовуватись в якості продуктовозовів. До таких портів відносяться Чорноморський, Одеський порти, а також Миколаївський порт з осадкою до 10,3 м при частковому завантаженні [1, 2].

Особливістю експлуатації такого типу танкерів є значна протяжність їх рейсових ліній у північній субтропічній та тропічній зонах світового океану. Це призводить до зниження ефективності роботи охолоджувачів надувного повітря, що входять до систем утилізації теплоти відпрацьованих газів головних двигунів.

Тому обґрунтування способів підвищення ефективності охолоджувачів надувного повітря, як елемента системи утилізації теплоти, з метою підвищення ефективності

енергетичних установок танкерів-продуктовозів з осадкою 11-13 м та шириною 32..32,2 м, що відповідають танкерам типу PANAMAX, є доцільним, а тема дослідження – актуальною.

Аналіз складу енергетичної установки для суден такого типу, за даними матеріалів журналу *Significant Ships* за 2014-2019 року, показав, що пропульсивна установка складається з МОД потужністю 10000-14000 МВт з прямою передачею потужності на гвинт фіксованого кроку. До складу електричної установки входить три дизель-генератора (ДГ) з потужністю первинного теплового двигуна 780-1620 кВт, іноді застосовують чотири ДГ потужністю 650-810 кВт. Котельна установка складається з одного допоміжного котла паропродуктивністю 16-20 т/год та утилізаційного котла – 0,6-1,4 т/год, але у зв'язку з підвищенням ефективності головних двигунів спостерігається тенденція заміни утилізаційних котлів на комбіновані продуктивністю 1200/500-1200/700 або 2000/500-2000/1017 в залежності від потреб пару та району плавання [3].

Зазвичай в якості головного використовуються двигуни фірми MAN B&W серії S з діаметром циліндрів 50-60 см, та зараз з'являються двигуни серія G. Це пояснюється додатковою увагою до екологічних показників двигунів. Тому в якості дослідження обрано двигуни 7G50ME-B9.3 та 7G50ME-C9.6, що найбільше співпадають по потужності, частоті обертання та проектами, що використовуються. Цим двигунам притаманно зростання ступеня стиснення повітря у газотурбонагнітачі (ГТН) та зменшення температури газів на виході з ГТН з урахуванням збільшення ходу поршня [3, 4].

Метою дослідження є обґрунтування способу підвищення ефективності суднових енергетичних установок за рахунок утилізації теплоти надувного повітря головного двигуна.

Досліджено двосекційний охолоджувач повітря з теплообмінною поверхнею з еліптичних оребрених труб з застосуванням лунок на ребрах для інтенсифікації теплообміну. Виконано порівняння круглих труб з еліптичними та еліптичних з оребренням без застосування лунок та з ними. Аналіз результатів застосування лунок на ребрах труб з еліптичним перерізом проведений за фактором аналогії Рейнольдса *FAR*. Отримано що: профілювання ребер лунками дозволяє знизити гідродинамічний опір теплообмінної поверхні на 15...18%, що в свою чергу призводить до підвищення інтенсивності тепловіддачі на 17...19% [5, 6]. Це підтверджує ефективність використання таких поверхонь та можливість зниження витрат пального при отриманні пари під час переходу на 0,0032...0,0098 кг/с при ККД котла 88%. Результати отримані при використанні параметрів головного двигуна по ISO.

Планується додатково визначити вплив змін температур навколишнього повітря при експлуатації охолоджувача надувного повітря та утилізаційної частини комбінованого котла

під час рейсу Джидда – Південний з визначенням ефективності установки при застосуванні нової поверхні охолоджувача надувного повітря ГД.

Література:

1. Україна в паливному зашморгу: чим загрожує та як позбутися: веб-сайт. URL: <https://kosatka.media/uk/category/blog/news/ukraina-v-toplivnoy-petle-chem-grozit-i-kak-izbavitsya> (дата звернення 06.10.2021).
2. АМПУ Адміністрація морських портів України: веб-сайт. URL: <http://www.uspu.gov.ua/reestr-morskikh-portiv> (дата звернення 05.10.2021).
3. Significant Ships, (2014-2019). The Royal Institution of Naval Architects. URL: www.rina.org.uk/sigships (дата звернення 06.10.2021).
4. Marine engine program MAN Energy Solutions 2021: веб-сайт. URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/marine-engine-programme-20205656db69fafa42b991f030191bb3bbb4.pdf?sfvrsn=9cac9964_40 (дата звернення 05.10.2021).
5. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок). НАНУ, ИТТФ. Київ, 2005. 76 с.
6. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.

INFLUENCE OF IMPROVEMENT OF THE MAIN ENGINE HEAT RECOVERY SYSTEM OF THE PANAMAX TYPE PRODUCT TANKER ON THE PLANT'S EFFICIENCY IN OPERATION IN NORTHERN SUBTROPICAL AND TROPICAL ZONES OF THE WORLD OCEAN

Bagrii S.A., Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of modern low-speed engines utilization systems of MAN B&W was carried out. The use of new heat exchange surfaces from elliptical ribbed pipes with the use of dimple systems and the efficiency of using such surfaces when operating under conditions of elevated ambient air temperatures has been researched.

Key words: marine power plants, operation, charge air cooler, heat-transfer surface, elliptic pipe, ribbed surface, dimple.

УДК 628.165:621.44

ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИКИДІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ КОМПЛЕКСНИХ ЗАХОДІВ У ГАЗОВИПУСКНИХ СИСТЕМАХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА СУДНАХ РІКА-МОРЕ

Кузнецова С.А.

канд. техн. наук, доц. кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Карпенко Д.І.

студент магістратури кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено аналіз складу суднових енергетичних установок суден типу «ріка-море». Розглянуто заходи, що пропонуються заводами-виробниками по зниженню вмісту екологічно-небезпечних елементів у відпрацьованих газах та можливість застосування цих заходів на судах «ріка-море». Досліджено можливість використання охолоджувача відпрацьованих газів, як елемента газовипускної системи, для зменшення концентрації оксидів азоту.

Ключові слова: судна ріка-море, експлуатація, дизельні двигуни, відпрацьовані гази, екологічно-небезпечні викиди, охолоджувач відпрацьованих газів.

Україна, крім виходу до Чорного та Азовського морів, має велику кількість судноплавних річок [1, 2]. У 2018 році отримано позитивний досвід перевезення сільськогосподарської продукції на внутрішньому ринку країни і були проекти розширення таких перевезень і навіть початок перевезень продукції за кордон. Останнім часом ведуться роботи по відновленню річкових шляхів [4], тому є надія на відродження таких перевезень. Та для річкового транспорту є обмеження по осадці суден від 1,6 до 2,9 м, такі повноводні річки як Дніпро та Південний Буг можуть забезпечити прохід суден «ріка-море», буксирів та інших суден з осадкою до 4 м. [4, 5, 6]. Застосування таких суден має і інші особливості – рівень льодового захисту, висота хвиль, а також особливості експлуатації суднових енергетичних установок при сучасних вимогах по екологічно небезпечним викидам.

Аналіз суднових енергетичних установок показав, що в якості двигунів пропульсивних установок застосовуються дизельні двигуни потужністю 1650-2000 кВт при застосуванні одновальних установок або 1100-1200 кВт для двовальних установок. Частота обертання усіх двигунів лежить у діапазоні 900-1000 хв⁻¹ відомих фірм виробників MAN Energy Solutions, Wärtsilä, Diesel engine Yanmar і т.п.. В якості первинних дизельних двигунів для приводу електрогенераторів використовуються двигуни потужністю 160-340 кВт та частотою обертання 1500 хв⁻¹ фірм Mitsubishi Heavy Industries, VOLVO PENTA і т.п. [7].

Усі двигуни мають сертифікати по викидам екологічно-небезпечних елементів SO_x , NO_x , CO та CO_2 , що відповідають вимогам Tier II [8, 9, 10], та посилення вимог з 1 липня 2021 до викидів NO_x [11] може ускладнити використання цих двигунів. Зниження SO_x досягається переходом на легкі палива з малим вмістом сірки. Зниження CO досягнуто регулюванням процесів згоряння, а окислення CO до CO_2 забезпечується значним надлишком повітря та повним згоряння пального. Для головних двигунів фірмами розроблені системи зниження NO_x , та вони мають великі масогабаритні показники та вартість експлуатації. Тому для суден «ріка-море», що мають малу висоту систем газопуску, застосування таких систем стає майже неможливим.

З іншого боку розсіювання екологічно небезпечних викидів при проходженні цих суден по рікам зменшується із-за значного зменшення руху повітряних мас порівняно з морськими просторами. Так середня швидкість руху у Київській, Черкаській, Кіровоградській, Полтавській, Дніпропетровській, Нікопольській, Миколаївській, Херсонській та Запорізькій складає на рівні 3-5 м/с, а середні максимальні до 7-11 м/с, а у Чорному морі середня 5-10 м/с та максимальна 17-22 м/с [12, 13].

Тому питання зниження викидів NO_x для дизельних двигунів таких суден є актуальним і потребує дослідження.

Для зниження цих викидів розглянуто застосування газоповітряних охолоджувачів відпрацьованих газів у газопускних системах дизельних двигунів енергетичних установок суден «ріка-море». Конструкція та принцип дії якого наведено у [14 Стаття в скопусе].

Метою дослідження є оцінка зниження рівня шкідливих речовин у потоці відпрацьованих газів суднових дизельних установках.

При дослідженні використано метод математичного моделювання. Для цього сформовано модель як система рівнянь: нерозривності, збереження кількості руху, енергії та хімічних речовин у суміші. Розв'язання системи використано RANS підхід при його реалізації в програмному комплексі з вільною ліцензією Code Saturne і хмарному сервісі Code Scale [15, 16].

Отримані результати показали зниження концентрації шкідливих речовин (NO_x) від 4,0 до 7,0 % від початкових значень концентрації в об'ємі, в залежності від потужності двигунів.

Якщо застосувати данні для двигунів L21/31 фірми MAN [8], то застосування двигуна без охолоджувача відпрацьованих газів дозволяє забезпечити викиди екологічно небезпечних елементів: головні компоненти газів : азот N_2 : у % за об'ємом – 74,0-76,0 або 5020-5160 г/кВт; кисень O_2 : у % за об'ємом – 11,6-13,2 або 900-1030 г/кВт; вуглекислий газ

CO₂: у % за об'ємом – 5,2-5,8 або 560-620 г/кВт; пара H₂O: у % за об'ємом – 5,9-8,6 або 260-370 г/кВт; інертні гази Ar, Ne, He та ін.: у % за об'ємом – 0,9 або 75 г/кВт. Загальне значення: у % за об'ємом > 99,75 або 7000 г/кВт.

Додаткові газоподібні компоненти у відпрацьованих газів, які вважаються екологічно небезпечними (забруднюючими): сірки SO_x: у % за об'ємом – 0,07 або 10 г/кВт; оксиди азоту NO_x: у % за об'ємом – 0,07-0,1 або 8,0-10 г/кВт; оксиди вуглецю CO: у % за об'ємом – 0,006-0,011 або 0,4-0,8 г/кВт; вуглеводні HC: у % за об'ємом – 0,01-0,04 або 0,4-1,2 г/кВт. Загальне значення: у % за об'ємом < 0,25 або 26 г/кВт.

При використанні охолоджувача відпрацьованих газів значення по оксиду азоту NO_x може бути знижені до: у % за об'ємом – 0,067-0,093 або 7,68-9,3 г/кВт. Крім того при використанні цього охолоджувача досягається температура газів, що потрапляє у атмосферу на рівні 200°C.

Подальша робота спрямована на вдосконалення конструкції самого охолоджувача, а саме – оптимізацію конструкції соплових насадок та визначення кута нахилу жалюзійної решітки.

Література:

1. Кабмін розширив перелік судноплавних річок України: веб-сайт. URL: <https://gmk.center/ua/news/kabmin-rozshiriv-perelik-sudnoplavnih-richok-ukraini/> (дата звернення 30.09.2021).
2. Офіційний сайт Державної установи «Держгідрографія» Державної служби морського та річкового транспорту України: веб-сайт. URL: https://hydro.gov.ua/?page_id=191 (дата звернення 30.09.2021).
3. Вантажне річкове судноплавство в Україні: чи варто очікувати відродження галузі?: веб – сайт. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2020/08/07/infografika/ekonomika/vantazhne-richkove-sudnoplavstvo-ukrayini-chy-varto-ochikuvaty-vidrozhennya-haluzi> (дата звернення 30.09.2021).
4. Судноплавний потенціал Південного Бугу: веб-сайт. URL: <https://www.nibulon.com/news/novini-kompanii/sudnoplavnii-potencial-pivdenного-bugu.html> (дата звернення 01.10.2021).
5. Судноплавство на Дніпрі: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Судноплавство_на_Дніпрі (дата звернення 02.10.2021).
6. Судноплавна компанія ТОВ СП «НІБУЛОН»: веб-сайт. URL: <https://www.nibulon.com/data/filii/sudnoplavna-kompaniya.html> (дата звернення 02.10.2021).
7. Significant Ships, (2010-2019). The Royal Institution of Naval Architects. URL: www.rina.org.uk/sigships (дата звернення 06.10.2021).

8. L21/31 Project Guide – Marine Four-stroke GenSet compliant with IMO Tier II URL: https://manes.com/applications/projectguides/4stroke/manualcontent/PG_M-II_L2131.pdf (дата звернення 12.10.2021).

9. Wärtsilä 20 Project Guide URL: <https://www.manualslib.com/manual/1177300/W-Rtsil-W-Rtsil-20.html#manual> (дата звернення 12.10.2021).

10. Engine Family D9-MG AB VOLVO PENTA. URL: https://www.marinpro.com/Cms_Data/Contents/powerhouse/Folders/Accessories/AccessoryFiles/~contents/RL8J78EKABT3X3UL/D9_IMO2Cert.pdf (дата звернення 12.10.2021).

11. Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13: веб-сайт. URL: [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx) (дата звернення 13.10.2021).

12. Вітрові режими України: веб-сайт. URL: <https://pogoda.rovno.ua/vitroviy-rezhim-ukrayini> (дата звернення 13.10.2021).

13. МОРЯ ТА ЇХНІ РЕСУРСИ: веб-сайт. URL: <http://www.wdc.kpi.ua/atlas/4140100.html> (дата звернення 13.10.2021).

14. Kuznetsov V., Dymo B., Kuznetsova S., Bondarenko M., Voloshyn A./ Improvement of the cargo fleet vessels power plants ecological indexes by development of the exhaust gas systems./ Polish maritime research 1 (109) 2021 Vol. 28; pp. 97-104. (WoS, Scopus)

15. Code Saturne: веб-сайт. URL: <https://www.code-saturne.org/cms/web/> (дата звернення 13.10.2021).

16. Computational Fluid Dynamics: CFD Software: веб-сайт. URL: <https://www.simscale.com/product/cfd/> (дата звернення 13.10.2021).

CHANGES OF ECOLOGICALLY-DANGEROUS EMISSIONS WHILE APPLYING COMPLEX MEASUREMENTS IN THE EXHAUST-GAS SYSTEMS OF DIESEL ENGINES ON THE RIVER-SEA VESSELS

Karpenko D.I. , Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of the composition of marine power plants of "river-sea" type vessels is carried out. The measures proposed by the manufacturing plants to reduce the content of ecologically-dangerous elements in exhaust gases and the possibility of applying these measures on the "river-sea" vessels are considered. The possibility of using an exhaust gas cooler as an element of gas discharge system to reduce nitrogen oxides concentration was researched.

Key words: vessels river-sea, operation, diesel engines, exhaust gases, ecologically-dangerous emissions, exhaust gas cooler.

УДК 628.165:621.44

ЗНИЖЕННЯ ШУМУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ ПОРОМІВ ТИПУ RO-PAH ДЕДВЕЙТОМ 5300 т

Приступ Д. В.

*студент магістратури кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Науковий керівник: Кузнецова С.А.

*канд. техн. наук, доц. кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Проведено аналіз причин і характеру джерел виникнення шуму при експлуатації суднових дизель-генераторів. Розглянуто аеродинамічний та акустичний типи шуму. Запропоновано використання глушників типу MFT компанії Maxim Silencers Inc з новою теплообмінною поверхнею з профільованням лунковими системами.

Ключові слова: шум, експлуатація, суднові дизель-генератори, глушники, теплообмінна поверхня, лункові системи.

Пороми типу Ro-Pax мають особливості – вони дозволяють з комфортом транспортувати як людей, так їх автомобілі. Подорожі на індивідуальному транспорті зазвичай надавали більше можливостей та певності, а зараз під час COVID-19, ще й забезпечують додаткову безпеку. Наявність комфортабельних кают дають можливість забезпечити додатковий відпочинок для людей. Це дуже важливо як для водіїв, так і для тих кого вони перевозять. Для забезпечення відпочинку для пасажирів та членів екіпажу необхідно знижувати рівень шуму та вібрації, що утворюється елементами суднової енергетичної установки. Для можливості розробки заходів зменшення шуму потрібно чітко мати уяву причин його виникнення.

В залежності від причин і характеру усі джерела виникнення шуму поділяють на чотири основних типа: механічний; аеродинамічний; гідродинамічний; електромагнітний [1]. Причинами *аеродинамічного* шуму є: періодичний випуск газів в атмосферу; такий шум має назву *сиренним* (об'ємним), оскільки його типовим прикладом є звук сирени. Акустичний шум з причиною *вібрації*. З точки зору передачі на людину вібрація поділяється на загальну, яка діє на тіло людини яка стоїть, сидить або лежить та локальну, яка передається крізь руки людини. Саме ці два типи і досліджуються у роботі.

Мета дослідження – зниження рівня шуму системи газовипуску суднового дизель-генератора за рахунок інтенсифікації тепловіддачі на оребрених профільованих поверхнях глушників.

Об'єкт дослідження – процеси течії та теплообміну при повздовжньому обтіканні оребрених профільованих поверхонь, а *предмет* – показники цих процесів.

Розглянуто конструктивні особливості глушника типу MFT компанії Maxim Silencers Inc. У представленій конструкції суміщені функції глушника, який працює на рахунок розширення газів та їх обертання на 180°, та підігрівача води. Завдяки останньому додатково знижується температура відпрацьованих газів з відповідним зниженням інтенсивності звуку і звукової потужності [2].

Подальше покращення акустичних, а відповідно і теплопередавальних характеристик поверхонь теплообміну глушника типу MFT можливо за рахунок їхнього профілювання лунковими системами [3]. Фізична основа використання лунок базується на формуванні в них вихороподібних структур, подібних природним вихорам типу «торнадо». Розрядження, яке утворюється у центрі вихору, знижує аеродинамічний опір при обтіканні лункових систем, інтенсифікуючи таким чином тепловіддачу.

Отримані результати показують, що завдяки профілюванню лунковими системами з сферичними заглибленнями можливе зниження температури відпрацьованих газів з 342°C майже до 225...262°C. Аналіз отриманих результатів показує, що інтенсифікація тепловіддачі на оребрених профільованих поверхнях може дозволити знизити рівень звукового тиску, який створюється двигуном, додатково до 12 дБ.

У подальших дослідженнях планується використати отримані результати для дослідження рівень звукового тиску при застосуванні глушника типу MFT з використанням лункових систем на ребрах теплообмінних поверхонь для дизель-генераторів МАК 6М20С [4] для поромів типу “Abel Matutes”[5].

Література:

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Университетская книга, Логос, 2008. 424с.
2. Heat recovery silencers for reciprocating engines URL: <http://www.maximsilencers.com/reciprocating-engine-heat-recovery-silencers-MFT.html> (дата звернення 02.10.2021).
3. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок). НАНУ, ИТТФ. Київ, 2005. 76 с.
4. M20C Project Guide • Propulsion. URL: https://www.finanzauto.es/images/documentos/productos/soluciones_energeticas_propulsion/marin o/M20C.pdf (дата звернення 08.10.21).

5. Significant Ships, (2010-2019). The Royal Institution of Naval Architects. URL: www.rina.org.uk/sigships (дата звернення 06.10.2021).

NOISE REDUCTION DURING THE OPERATION OF MARINE DIESEL GENERATORS OF FLOATBOARDS WITH TYPE RO-PAX 5300 T DWT

Pristup D.V. , Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of reasons and character of noise sources during operation of marine diesel generators is carried out. The aerodynamic and acoustic types of noise are considered. The use of silencers of MFT type by Maxim Silencers Inc with new heat-exchange surface with dimple profiling systems is offered.

Key words: noise, operation, marine diesel generators, silencers, heat exchange surface, dimples systems.

УДК 628.165:621.44

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРІВ НА БАЛКЕРАХ ДЕДВЕЙТОМ ДО 70000 ТОН ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА РЕЙСОВІЙ ЛІНІЇ МИКОЛАЇВ – ТРІПОЛІ

Кирюхін В. В.

студент магістратури кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Кузнецова С.А.

канд. техн. наук, доц. кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Проведено аналіз систем утилізації теплоти відпрацьованих газів сучасних середньо та високооборотних двигунів, що використовуються для привода дизель-генераторів. Для підвищення їх ефективності запропоновано використання глушника-іскрогасника «сухого типу» з теплообмінною поверхнею що складається з круглих труб зі спіральнo-стрічковим оребренням з лунками. Це дозволяють додатково отримати гарячу воду чи пару при загальному опорі поверхні не більше 5 кПа.

Ключові слова: експлуатація, суднові дизель-генератори, системи утилізації теплоти, спіральнo-стрічкове оребрення, лунка

Одним з економічних способів перевезення сільськогосподарської продукції у Лівію є балкери дедвейтом до 70000 тон [1, 2]. Розглянуто можливість застосування таких суден, що мають осадку 12...14 м при повному завантаженні. З Миколаєва такі судна виходять з неповним вантажем з осадкою до 10 м, а потім в районі Очакова (чи Коблева) вони дозавантажуються.

Для розробки пропозицій по підвищенню ефективності систем утилізації теплоти відпрацьованих газів проведено аналіз складу енергетичних установок таких суден з використанням даних журналу Significant Ships за 2014-2019 року [3]. В якості головного двигуна використовуються двигуни S60ME –С з 5-тю чи 6-ю циліндрами при експлуатаційній потужності 10200-11300 кВт, та більше все ж таки застосовуються більш сучасні, екологічно більш досконалі двигуни серії «зелені – G» з діаметром поршня 50-70 см та кількість від 5 до 7 циліндрів. Ці двигуни зазвичай працюють на гвинти фіксованого кроку. До характерного складу суднової електростанції входять 3 дизель-генератора (ДГ) фірм MAN, Wärtsilä, Yanmar, Hyundai однакової потужності (двигунів) 640-930 кВт, но іноді можуть використовуватися і валогенератори (потужність 500-600 кВт) та 2 ДГ потужністю 1000-1200 кВт. В якості котельної установки застосовуються комбіновані котли паропродуктивністю 800/700-1600/1000 кг/год в залежності від рейсової лінії та вантажу, іноді застосовуються допоміжні котли паропродуктивністю до 2000 кг/год.

Враховуючи значні потужності ДГ та тенденції підвищення економічності установок, для зниження витрат пального розглянуто варіанти підвищення ефективності систем утилізації теплоти, що дозволить додатково поліпшити і екологічні показники. Особливо це стосується елементів установки, що працюють на стоянках у портах, де вимоги до екологічних показників вище ніж на переході. Тому розглянуто можливість застосування глушника-іскрогасника з теплообмінною поверхнею для утилізації теплоти відпрацьованих газів ДГ. Враховуючи цю інформацію обрана тема є актуальною і потребує розробки.

Мета дослідження – підвищення ефективності суднових енергетичних установок за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих газів дизель-генераторів при застосуванні нових теплообмінних поверхонь. Предмет дослідження – теплообмінна поверхня глушника-іскрогасника, а об'єкт – процеси теплопередачі і аеродинамічного опору.

При обранні теплообмінної поверхні враховуються наступні вимоги: обмеження по втраті тиску при подоланні опору поверхні; висока ефективність для можливості забезпечення необхідних масогабаритних показників, використання досвіду експлуатації та ремонту тої чи іншої поверхні.

Теплообмінна поверхня складається з круглих труб з спіралью-стрічковим оребренням з нанесенням лунок та порівнюється з поверхнею з круглих труб. Особливість поверхні, що досліджується є наявність лунок, що дозволяють при утворенні вихорів одночасно досягти розрядження, що дозволить знизити опір, та знизити товщину примежового шару, що інтенсифікує теплообмін [4]. Результати показали, що тепловіддача оребреного пучка перевищує тепловіддачу круглої труби в середньому на 20%. Додатково,

як і було припущено, отримано зростання тепловіддачі оребреної поверхні з лунками ще в середньому на 7%. Безпосередньо утилізаційна теплопередавальна частина глушника-іскрогасника буде забезпечувати отримання при роботі двигуна на номінальному режимі до $D=0,74$ кг/с гарячої води з температурою 120°C. Ці данні отримані при стандартних умовах (ISO), тобто початкових параметрах повітря – температурі 20°C та тиску 101,325 кПа, яким відповідає температурі газів на виході з двигуна 325°C. При експлуатації на рейсовій лінії Миколаїв-Тріполі, що знаходиться у субтропічній та тропічній зонах світового океану, температура газів може підвищитися до 342 °C, тобто за необхідністю може бути збільшено кількість гарячої води або отримано пару. [5, 6]

Подальші дослідження спрямовані на обґрунтування шляхів використання отриманої теплоти в судновій енергетичній установці для підвищення її ефективності під час експлуатації.

Література:

1. Лівія зацікавлена в імпорті олії та зерна з України. URL: <https://agropolit.com/news/20525-liviya-zatsikavlena-v-importi-oliyi-ta-zerna-z-ukrayini> (дата звернення 06.10.2021).
2. Великобританія та Лівія отримали близько 38 тис.тон зернових із Херсонщини. URL:<http://kherson.sfs.gov.ua/media-ark/news-ark/print-109107.html> (дата звернення 04.10.2021)
3. Significant Ships, (2014-2019). The Royal Institution of Naval Architects. URL: www.rina.org.uk/sigships (дата звернення 06.10.2021).
4. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок). НАНУ, ІТТФ. Київ, 2005. 76 с
5. Marine engine program MAN Energy Solutions 2021: веб-сайт. URL: https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/marine-engine-programme-20205656db69fafa42b991f030191bb3bbb4.pdf?sfvrsn=9cac9964_40 (дата звернення 05.10.2021).
6. L23/30H Project Guide – Marine Four-stroke GenSet compliant with IMO Tier II веб-сайт. URL: https://man-es.com/applications/projectguides/4stroke/manualcontent/Mobile/L23-30H_GenSet_TierII.pdf (дата звернення 01.10.2021).

INCREASING THE DIESEL GENERATORS WASTE HEAT RECOVERY SYSTEMS EFFICIENCY ON BULK CARRIERS WITH A DEADWEIGHT OF UP TO 70,000 TONS DURING OPERATING ON THE SAILING LINE MYKOLAIV – TRIPOLI

Kiryukhin V.V., Kuznetsova S.A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of waste heat recovery systems of modern medium and high-speed engines used to drive diesel-alternators is carried out. To increase their efficiency, it is proposed to use a “dry type” spark arrestor–silencer with a heat exchange surface consisting of round tubes with spiral-ribbon ribbing with

dimples. This makes it possible to additionally obtain hot water or steam with a total surface resistance of not more than 5 kPa.

Key words: operation, marine diesel-alternators, waste heat recovery system, spiral-tape fins, dimple.

УДК 621.438

ВИБІР КРИТЕРІЮ ПОРІВНЯННЯ КОНСТРУКЦІЙ РЕГЕНЕРАТОРІВ ГТУ

Горбов В. М.

кандидат технічних наук, професор

*завідувач кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

viktor.gorbov@nuos.edu.ua

Соломонюк Д.М.

кандидат технічних наук,

провідний інженер,

ДП НВГК «Зоря»–«Машпроект»

м. Миколаїв, Україна

dns_wrk@ukr.net

Анотація. Зменшення маси регенераторів газотурбінних установок виконується шляхом вибору їх раціональних параметрів та впровадженням нових поверхонь теплообміну з інтенсифікацією тепловіддачі. Для рішення цієї задачі використовують різного роду критерії та комплекси: критерій Кирпичова, фактор аналогії Рейнольдса, тощо. Авторами показано недосконалість цих підходів та рекомендовано для порівняння варіантів конструкцій регенераторів використовувати критерій мінімальної маси всього теплообмінника.

Ключові слова: газотурбінні установки, регенерація теплоти, рекуператори, маса теплообмінника

Збільшення економічності виробництва енергії можна досягти за рахунок використання регенеративних газотурбінних установок (ГТУ), коефіцієнт корисної дії (ККД) яких при помірних початкових температурах газу може досягти 38–40 % і 50 % – при комбінації регенерації з іншими способами підвищення паливної ефективності. В той же час використання регенерації теплоти збільшує масу й вартість ГТУ, час пуску та переходу з режиму на режим, ускладнює конструювання ГТУ. Тому досягнення мінімальної маси регенератора при забезпеченні потрібних паливної економічності, ресурсу та габаритів є актуальною науково-прикладною задачею [1, 2].

Для підвищення ефективності передачі тепла, зменшення маси та габаритів останнім часом запропоновано багато теплообмінних поверхонь з інтенсифікаторами теплообміну різного типу [3–5]. Для рішення задачі вибору типу поверхні, методу інтенсифікації

теплообміну, раціональних параметрів і геометрії теплообмінних апаратів широко використовуються різні критерії, що характеризують досконалість передачі теплоти у теплообміннику [4–6].

Широке поширення отримав фактор аналогії Рейнольдса (FAR) [4]:

$$FAR = (Nu_{in}/Nu_{гл}) / (\lambda_{in}/\lambda_{гл})$$

де Nu – критерій Нусельта, λ – коефіцієнт втрат тиску. Індокси "гл" та "ін" відносяться до гладкої поверхні теплообміну та поверхні теплообміну з інтенсифікаторами тепловіддачі.

Вважається, що при $FAR > 1$ інтенсифікація тепловіддачі має позитивний ефект, а чим більше значення FAR , тим поверхня теплообміну буде ефективнішою, а її маса меншою.

Також порівняння різних варіантів теплообмінників може проводитись за мінімальною площею або об'ємом поверхні теплообміну.

Проте розрахунки трубчатих регенераторів з інтенсифікаторами тепловіддачі різної ефективності показали, що зниження маси регенератора можна очікувати і у тих випадках, коли зростання опору при інтенсифікації більше за зростання тепловіддачі, тобто при $FAR < 1$. Так, у трубах з виступами на внутрішній поверхні при $Nu_{in}/Nu_{гл} = 1,2$ і $\lambda_{in}/\lambda_{гл} = 2$ ефективність інтенсифікації передачі теплоти $FAR = 0,6$, а маса регенератора при цьому знижується на 7 %. Для труб, зовнішня поверхня яких інтенсифікована лунками, при $FAR = 0,786$ ($Nu_{in}/Nu_{гл} = 1,1$ і $\lambda_{in}/\lambda_{гл} = 1,4$) отримано зниження маси у 5 %.

Це пояснюється тим, що втрати тиску залежать від квадрату швидкості теплоносія, і зростання коефіцієнта опору можливо компенсувати незначним її зменшенням. При цьому зниження тепловіддачі, яке пропорційне величині швидкості у ступені 0,6–0,8, буде незначним порівняно з ефектом, викликаним введенням інтенсифікації, що у результаті приведе до зменшення маси.

Подальші розрахунки показали, що внаслідок наявності елементів, які не приймають участі у передачі тепла (корпуси, колектори, тощо), теплообмінник з меншою площею (об'ємом або масою теплообмінної матриці) може мати більшу загальну масу.

Виходячи з цього авторами рекомендується порівняння варіантів конструкцій регенераторів у тому числі і з різними інтенсифікаторами тепловіддачі виконувати за критерієм мінімальної маси всього теплообмінника.

Література:

1. Николаевские газотурбинные двигатели и установки. Под. ред. В.И.Романова. Николаев : Юг-Информ, 2005. 304 с.
2. Патон Б., Халатов А., Костенко Д., Білека Б., Письменний Є., Боцула А., Парафійник В., Коняхін В. Концепція (проект) державної науково-технічної програми

"Створення промислових газотурбінних двигунів нового покоління для газової промисловості та енергетики". Вісн. НАН України, 2008. № 4. С. 3–9.

3. Попов И. А., Гортышов Ю. Ф., Олимпиев В. В. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор). Теплоэнергетика. 2012. № 1. С. 3–14.

4. Антуфьев В. М., Гусев Е. К., Ивахненко В. В., Кузнецов Е. Ф., Ламм Ю. А. Теплообменные аппараты из профильных листов. Л.: Энергия, 1972. 127 с.

5. Бажан П. И., Каневец Г. Е., Селиверстов В. М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 365 с.

6. Валуева Е. П. Доморацкая Т. А. Оценка теплогидравлической эффективности рекуперативных теплообменных аппаратов. Теплоэнергетика. 2002. № 3. С. 43-48.

7. Дубровский Е. В. Васильев В. Я. Метод относительного сравнения теплогидравлической эффективности теплообменных поверхностей и теплообменников. Теплоэнергетика. 2002. № 5. С. 47-54.

CHOICE OF CRITERIA FOR COMPARISON OF CONSTRUCTION OF GAS TURBINE REGENERATORS

Gorbov Viktor Michailovich
Solomonyuk Denis Mykolaevich
Zorya-Mashproekt, Mykolayiv, Ukraine

Annotation. Reducing the mass of gas turbines regenerators is performed by choosing their rational parameters and the introduction of new heat transfer surfaces with intensification of heat transfer. To solve this problem, various criteria and complexes are used: Kirpychev's criterion, Reynolds analogy factor, etc. Authors show the imperfection of these approaches, and recommend to comparing the designs of regenerators to use the criterion of the minimum heat exchanger mass.

Keywords: gas turbine plant, heat regeneration, recuperator, heat exchanger mass

УДК 621.436:629.128.6:656.6

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГОЛОВНИХ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Варбанець Р.А.¹, Залож В.І.², Тарасенко Т.В.³

¹*д.т.н., професор, завідувач кафедри Суднових енергетичних установок та технічної експлуатації, Одеський Національний Морський Університет, м. Одеса, Україна,
e-mail: roman.varbanets@gmail.com*

²*к.т.н., доцент кафедри інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна,
e-mail: zalozh@dinuoma.com.ua*

³*к.т.н., доцент, завідувач кафедри інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна,
e-mail: tarasenko@dinuoma.com.ua*

Анотація. Питання екологічності, енергетичної ефективності вже багато років зберігають популярність, актуальність та гостроту для усіх видів промислової діяльності та експлуатації засобів транспорту в загальні, та морського й внутрішнього водного транспорту зокрема. Пошук ведеться у двох основних напрямках. Перший напрямок – це створення інноваційних, новітніх проектів суден, в яких реалізовані варіанти використання «зелених» технологій. Це дуже коштовні проекти які потребують значних фінансових вкладень, тому не можуть бути масово затребувані на ринку перевезень. Другий напрямок – це часткова модернізація суднової силової установки існуючого флоту або пошук раціональних режимів експлуатації задля досягнення кращих показників енергоефективності та екологічності. В даній роботі розглянуті окремі аспекти практичного застосування аналітичних методів обробки даних, отриманих за результатами індиціювання суднових двигунів внутрішнього згоряння судна внутрішнього плавання, а саме штовхача, в умовах його експлуатації у дунайському судноплавстві з метою подальшого обґрунтування оптимальних режимів експлуатації таких суден.

Ключові слова: транспортний дизель, моніторинг робочого процесу, індикаторна потужність, коефіцієнт енергоефективності суден, аналітична синхронізація.

Дослідження режимів роботи суден у дунайському судноплавстві мають тривалу історію, але у контексті покращення екологічності та енергетичної ефективності набули нового наповнення та обґрунтування з розвитком технологій та нового розуміння їх актуальності. При цьому важливість покращення екології навколишнього середовища не зменшує необхідності утримання певного рівню економічності та доцільності існування в умовах конкурентного ринку перевезень. Одним з активних учасників дунайських перевезень залишається Приватне акціонерне товариство «Українське Дунайське пароплавство» (ПрАТ «УДП»), яке сприяє можливості виконувати деякі дослідження на борту суден власного оперування. Метою таких досліджень є отримання надійних

результатів щодо можливостей покращення показників енергоефективності та екологічності дунайського флоту.

Ріка Дунай як водний шлях відрізняється від інших внутрішніх водних шляхів Європи великою довжиною понад 2250 км та значною кількістю так званих «вузьких місць», тобто частин зі значним варіюванням навігаційних умов плавання.

Базуючись на спостереженнях Дунайської Комісії за ринком дунайських перевезень, можна побачити, що по кількості суднопроходів існує безумовний лідер серед інших типів суден – це буксири-штовхачи, які працюють з важкими караванами несамохідних суден.

Таким чином було обрано тип судна для досліджень. За сприянням українського судновласника ПрАТ «УДП» одне з досліджень було виконано під час експлуатаційного виходу в рейс буксира-штовхача, т/х «Борис Макаров», а саме були проведені діагностичні роботи головних та допоміжних двигунів із використанням системи *DEPAS D4.0H*.

Діагностика суднових двигунів з метою подальшого вибору оптимальних режимів експлуатації передбачає аналіз індикаторних діаграм тиску в робочому циліндрі залежно від кута повороту колінчастого валу (ПКВ) [1]. Також існує можливість розгляду діаграм фаз газорозподілу та/або характеристики паливоподачі, що сприяє підвищенню достовірності результатів діагностики [2]. Розрахунковими параметрами є середній індикаторний тиск (MIP) та індикаторна потужність (N_i). Слід одразу відмітити зв'язок з показниками енергоефективності: індикаторна потужність використовується як в управлінні режимами експлуатації двигунів, так й в розрахунках питомих показників, а також входить до розрахункових формул коефіцієнтів енергоефективності суден (відповідно до вимог ІМО). Таким чином точність розрахунку індикаторної потужності є впливовою для згаданих характеристик, але у той же час найбільший вплив на точність надає похибка у визначенні положення верхньої мертвої точки (ВМТ) [3].

Індиціювання дизелів проводилося за допомогою системи параметричної діагностики *DEPAS D4.0H*, розробленої на кафедрі «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету [2, 3, 5]. В якості головних двигунів на т/х «Борис Макаров» встановлені 2 дизеля марки *8NVD48A-2U* фірми «SKL» (Німеччина). Дизелі чотиритактні, рядні, реверсивні, тронкові, прості дії, з газотурбінним наддувом і автоматизованим дистанційним керуванням.

На рис. 1 наведено зведені індикаторні діаграми лівого головного двигуна ГД1 т/х «Борис Макаров», зняті при роботі на основному експлуатаційному режимі.

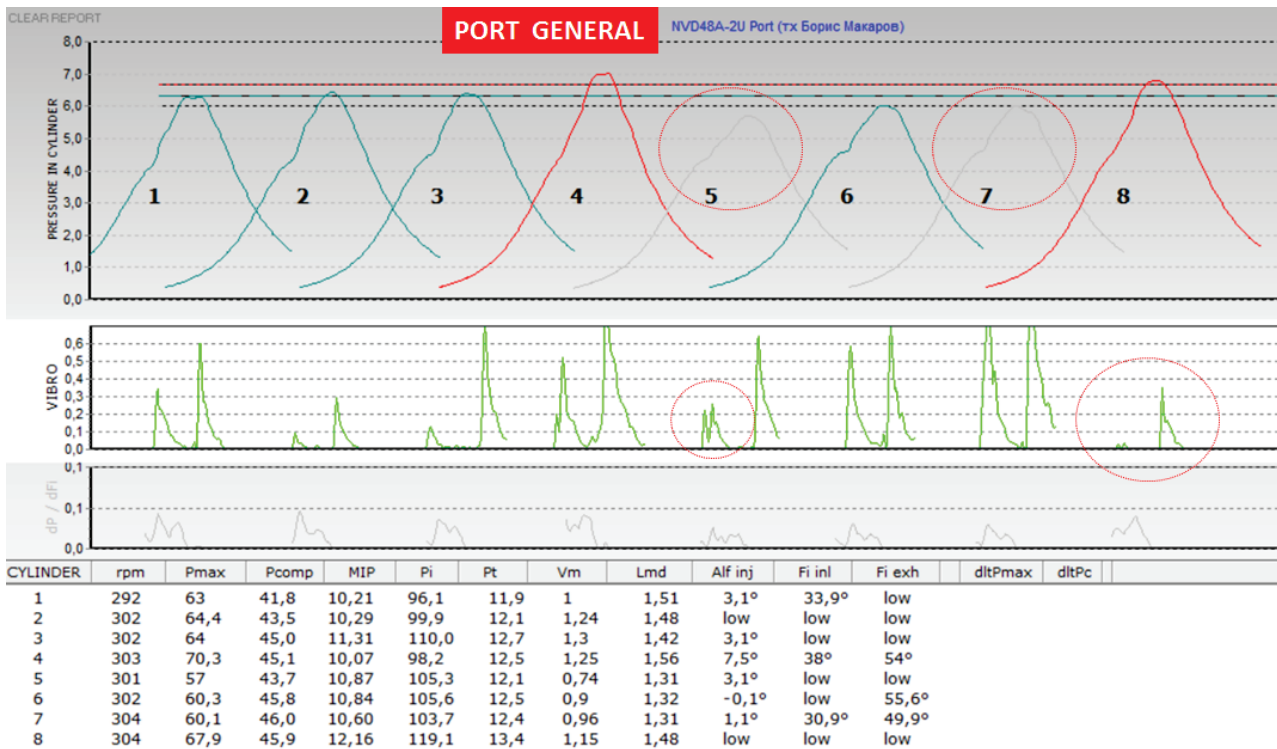


Рисунок 1. Зведені індикаторні та вібраційні діаграми лівого головного двигуна ГД1 NVD48A-2U т/х "Борис Макаров" за результатами випробувань

Результати діагностування ГД:

- циліндр 4: збільшена циклова подача на 2-3 індекси, ревзія клапанів;
- циліндр 5: дефект форсунки;
- циліндр 6: ревзія впускних клапанів;
- циліндр 7: перевірити стан шайби і кут впорскування, ревзія плунжерної пари;
- циліндр 8: ревзія форсунок.

Висновки

Проведені дослідження підтверджують результативність постійного експлуатаційного контролю технічного стану головних і допоміжних двигунів з метою своєчасного усунення наявних дефектів паливної апаратури. Регулювання паливної апаратури спільно з регулюванням механізму газорозподілу дає суттєві результати. До них можна віднести підтримання рівномірності розподілу навантажень по циліндрах і температурах випускних газів; запобігання аварійних ситуацій; зменшення загальної теплонапруженості деталей циліндро-поршневої групи; додержання паспортних режимів експлуатації. В цілому очікується покращення також й показників енергетичної ефективності та екологічності

Література:

1. Varbanets R.A., Zalozh V.I., Shakhov A.V., Savelieva I.V., Pitera V.M. Determination of top dead center location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. Diagnostyka.

Polish society of technical diagnostics. 2020. №21(1). P. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/116585>.

2. Варбанец Р.А., Беленький П.Н., Яровенко В.А., Ваганов А.И., Александровская Н.И. Определение основных параметров рабочего процесса и результаты диагностики главных дизелей теплохода «Greifswald» // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2015. №2. С. 31-41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-parametrov-rabochego-protsessa-i-rezultaty-dagnostiki-glavnyh-dizeley-teplohoda-greifswald>.

3. Варбанец Р. А. и др. Определение параметров рабочего процесса и диагностика главных среднеоборотных дизелей т/х «GREIFSWALD» //Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №. 1. – С. 63-68. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17891>

4. Danube Commission official web-site. URL: <https://www.danubecommission.org/dc/en/danube-navigation/market-observation-for-danube-navigation/>

5. Варбанец Р.А., Залож В.І., Тарасенко Т.В., Кучеренко Ю.М., Клименко В.Г. Особливості аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації. Двигуни внутрішнього згоряння. 2020. Вип. № 1(2020). С 14-21. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2020.1.02>.

APPLICATION OF MAIN DIESELS DIAGNOSTIC RESULTS FOR OPTIMAL OPERATING MODES DETERMINING

Roman Varbanets¹, Vitalii Zalozh², Tetyana Tarasenko²

¹ Odessa National Maritime University, Department of Ship Power Plants and Technical Operation, Mechnikova str. 34, Odessa, Ukraine, 65029
e-mail: roman.varbanets@gmail.com

² Danube institute of National university «Odessa maritime academy», Department of Engineering Sciences, Fanagoriyskaya str. 9, Izmail, Ukraine, 68607
e-mail: tarasenko@dinuoma.com.ua zalozh@dinuoma.com.ua

Abstract. Issues of environmental friendliness, energy efficiency have for many years remained popular, relevant and acute for all types of industrial activity and operation of vehicles in general, and maritime and inland water transport in particular. The search is conducted in two main directions. The first direction is the creation of innovative ship projects, which implement options for the use of "green" technologies. These are very expensive projects that require significant financial investment, so they can not be in great demand in the transportation market. The second direction is the partial modernization of the ship's propulsion system of the existing fleet or the search for rational modes of operation in order to achieve better energy efficiency and environmental friendliness. This paper considers some aspects of practical application of analytical methods of data monitoring obtained by indicating marine engines of inland waterway vessels, namely the pusher, in terms of its operation in Danube shipping in order to further determining the optimal operating modes of such vessels.

Keywords: transport diesel, monitoring working process, indicated power, energy efficiency coefficient, analytical synchronization.

УДК 629.12

ПІДВИЩЕННЯ УМОВ ОПТИМАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРОВОДКИ СУДІВ В БАГАТОКОМПОНЕНТНІЙ СИСТЕМІ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РЕЖИМУ І ЕКОНОМІЇ ПАЛИВА

Анастасенко С.М.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

ondi2008@ukr.net

Анотація. Проводиться аналіз умов підвищення оптимальної надійності проводки суден в багатокомпонентній системі в складних умовах при спільному використанні автоматичної ідентифікаційної, супутникової навігаційної систем, берегових і суднових радіолокаційних станцій. Підвищення точності визначення координат суден досягається за допомогою метрологічної атестації опорних пунктів мережі використовуючи на державні еталони одиниць часу, частоти і довжини. Чим досягається економія палива.

Ключові слова: економія палива, метрологія, автоматична ідентифікація, супутникова навігаційна система, державні еталони одиниць часу

Вступ

Розвиток сучасної науки і техніки, в існуючих умовах ініціюють нові завдання в галузі управління судноводіння і обміну навігаційною інформацією. Завдяки зростаючим можливостям обчислювальної, мікропроцесорної, радіолокаційної техніки, а також засобів зв'язку і систем визначення місця положення судів стає реальним автоматизувати систему управління судноводіння метою якого є забезпечення безпеки мореплавання, автоматизації обміну навігаційною інформацією та економії палива. Вирішення цих завдань пов'язане перш за все з використанням різницевих і диференціальних режимів систем супутникової навігації (СН) спостережень з фазовими змінами на несучої частоти, а також організацією мереж станцій безперервних спостережень СН і розвиненої системи метрологічного забезпечення. Економія палива буде ефективною якщо проводити судна по мінімальному маршруту.

В даний час в судноводінні пропонується використовувати Автоматичну ідентифікаційну Систему (АІС). Яка повинна відповідати за:

- автоматичну і регулярну передачу інформації між судами і береговим службам інформації, що включає відомості про судно, координати, курс, швидкість і інші відомості;

- автоматичний прийом, обробку та відображення аналогічної інформації від інших суден і берегових служб;
- автоматичний супровід (прокладку руху) судів, обладнаних АІС, з метою попередження зіткнень, а також контролю і регулювання судноплавства;
- автоматизований обмін повідомленнями між судами і береговими службами, пов'язаними з безпекою мореплавства.

У відкритому морі або в прибережних районах, регулярно передають в діапазоні ДВЧ (УКЧ) морської рухомої радіослужби стандартні повідомлення, що містять інформацію про судно, його координатах, курсі, векторі швидкості, небезпечний вантаж на борту, порти призначення, час прибуття та іншу, ця інформація надасть керівнику інформацію для прокладання найкоротшого маршруту тим самим надасть можливість економити паливо. Нижче розглянуто системи навігації які дозволяють забезпечити режим енергозбереження при судноплавстві.

Постановка задачі

Одним з основних умов надійності проводки суден і економії палива, є рішення навігаційного завдання. Основним змістом навігаційної задачі є визначення координат судна і параметрів його руху.

У суднових умовах найбільш прийнятний є наступний підхід до вирішення навігаційного завдання. Вважається, що основним джерелом інформації є вимірювання (апостеріорна інформація). Поряд з цим є і завжди апріорна інформація (визначені координати судна або координати визначених іншими навігаційними засобами) у вигляді сукупності очікуваних координат або параметрів руху. При цьому відомі відповідні імовірнісні характеристики можливих похибок. У процесі статистичної обробки знаходиться така сукупність величин, яка найкращим чином узгоджується з результатами вимірів. Можливий спосіб проведення оптимізації за різними критеріями, проте найбільш поширеним є критерій мінімуму дисперсії визначення координат. Одним з найбільш ефективних методів визначення поправок до наближених значень координат, оптимальних за критерієм, є метод максимальної правдоподібності, що забезпечує обробку некорельованих і корельованих вимірювань.

У зв'язку з цим виникає питання метрологічного забезпечення даної системи яка забезпечить енергозбереження. У такій системі будуть виникати похибки зумовлені впливом іоносфери і тропосфери, а також за рахунок впливу променевості, варіацій фазового центру прийомної антени, апаратних затримок і ін. Щоб знизити ці похибки до прийнятних значень необхідно використовувати спеціальні заходи і добре відпрацьовані методики вимірювань, а також використовувати державні первинні еталони часу, частоти, довжини та

ін., таким чином забезпечити мінімальний маршрут який дозволить економію палива за умов оптимальної надійності проводки судів в багатокомпонентній системі.

Методи рішення

Незважаючи на досить високу точність навігаційно-годинного забезпечення судноводіння в загальнодоступному режимі супутникової радіонавігаційної системи (СРНС), пропонується використовувати диференційний режим.

Диференціальний режим забезпечує визначення координат, що становлять вектора швидкості і часу судна (його вектора стану) за результатами прийому і обробки сигналів СРНС в двох рознесених точках її робочої зони. Одна з цих точок – місце розташування судна, координати якого уточнюються, друга – місце розташування апаратури прийому та обробки сигналів, що забезпечує формування коректує інформації для уточнення координат судна. Друга точка є еталоном і прив'язкою на місцевості з геодезичної точністю і розміщенням найбільш точної вимірювальної апаратури. Сукупність засобів, розміщених в еталонній точці, утворює контрольно-коригуючу станцію (ККС) яка може бути одним з елементів АІС.

Застосування диференціального режиму дозволить звести величину похибки визначення місцезнаходження судна до одиниць метрів, що різко підвищує ефективність СРНС як засоби навігаційного забезпечення судноводіння на всіх етапах та дозволить судну економити паливо, включаючи портові акваторії і зони дії служб управління рухом суден, а також стає надійним джерелом навігаційної інформації для АІС.

В основі диференціального режиму лежить використання просторово-часової кореляції складових похибки визначення місця знаходження.

Шляхом зіставлення координат ККС, визначених за сигналами СРНС, з апріорними їх значеннями виявляється систематична похибка. В силу просторово-часової кореляції таку ж похибку можна приписати і координатам, визначеними судном. Якщо на судно повідомити з ККС значення відповідної поправки, воно може скоригувати результати своїх навігаційних визначень.

Результат

Очевидно, що ефект від застосування диференціального режиму залежатиме від того, наскільки однаковими виявляться похибки на ККС і в точці знаходження судна в ті моменти, коли на ньому виробляються супутникові навігаційні визначення, тобто від ступеня просторово-тимчасової кореляції похибок. При сильній кореляції систематична частина похибки буде виключатися практично повністю, при слабкій кореляції – виявиться залишкова похибка.

Оскільки ККС має обмежену зону дії, тому на акваторії повинен бути розгорнутий ряд таких станцій в кожній з яких судно знаходиться в зоні впевненого прийому і корегує

Підвищення ефективності суднових енергетичних установок при проектуванні та експлуатації інформацію. Повинні бути передбачені заходи своєчасного переходу апаратури на прийом корегуючої інформації від чергової станції.

Висновки

Таким чином, реалізація диференціального режиму вимагає доповнити СРНС низкою технічних засобів, сукупність яких можна розглядати як своєрідну підсистему. Ця диференціальна підсистема не впливає на функціонування СРНС в основному, стандартної її режимі функціонування, але надає судну можливість перейти при необхідності на роботу в диференціальному режимі, що підвищить надійність судноводіння. А застосування добре відпрацьованих методик вимірювань та державних еталонів при метрологічній атестації системи дозволить збільшити точність визначення координат судна в 2-2,5 рази.

Література.

1. А.Д. Аргунов, С.Н. Малюков и др. Система передачи информации, использующая навигационный сигнал ИФРНС// Сб. трудов Третьей Международной конференции. «Планирование глобальной радионавигации», Москва; 9-11 окт.; 2000.
2. Ю.И. Никитенко, В.И. Быков, Ю.М. Устинов. Судовые радионавигационные системы. М. , Транспорт, 1992.
3. Соловьев Ю.А., Спутниковая навигация и ее приложения. -М.: Эко-Трендз, 2003.
4. Никитенко Ю.И., Устинов Ю.М. Судовая радионавигация: Учебник для вузов – М.: 1998.
5. Кондрашихин В.Т. Определение места судна – М.: Транспорт, 1989.

IMPROVING THE CONDITIONS OF OPTIMAL RELIABILITY OF COURT CONDUCTING IN A MULTI-COMPONENT SYSTEM IN THE CONDITIONS OF APPLICATION OF THE DIFFERENTIAL REGIME AND ECONOMY

Sergey Nikolaevich Anastasenko

Pervomaisky branch the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of conditions of increase of optimum reliability of conducting of vessels in multicomponent system in difficult conditions at joint use of automatic identification, satellite navigation systems, coastal and ship radar stations is carried out. Improving the accuracy of determining the coordinates of vessels is achieved through metrological certification of network reference points using the national standards of time, frequency and length. What achieves fuel economy.

Keywords: fuel economy, metrology, automatic identification, satellite navigation system, state standards of time units

УДК 621.3

РОЗВИТОК ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Капура І.А.

кандидат технічних наук,

*ст. викладач кафедри теплоенергетики та технологій машинобудування Первомайської
філії Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова м. Первомайськ, Україна
kapuraigor@gmail.com*

Анотація. В доповіді розглядається оптимальна необхідності концептуального перетворення системи технічної експлуатації суднових енергетичних установок на базі інформаційних технологій з урахуванням умов ринкової економіки.

Ключові слова: енергоносії, технологічні процеси, експлуатація, оптимізація, інформаційні технології, розвиток.

Технічна експлуатація суднових енергетичних установок (СЕУ) невіддільна від експлуатації морських суден. Історія мореплавання налічує тисячі років, і стільки ж років вирішуються основні завдання технічної експлуатації судна і його енергетичної установки – технічного використання, обслуговування та ремонту.

Відмінності в типі енергетичної установки і вигляді використовуваного енергоносія: повітряна установка, дизельна, паротурбінна або газотурбінна; використання енергії вітру, кам'яного вугілля, нафти або скрапленого газу – не змінюють самих завдань вибору режиму, запобігання раптових відмов, прогнозування поступових відмов, оптимізації термінів технічного обслуговування або ремонту суднових технічних засобів і т.д.

Згодом змінюються технологічні процеси технічної експлуатації. Управління вітрилами, ремонт такелажу і рангоуту і технічне обслуговування блоків і канатів вітрильних суден нічим не нагадують процесів управління автоматизованою енергетичною установкою сучасного теплохода і, тим більше, атомохода, обслуговування і ремонту її численних технічних засобів і систем.

Проте, не дивлячись на корінні відмінності технологічних процесів технічної експлуатації СЕУ, що відносяться до різних періодів їх розвитку, в них присутня певна спільність. І капітан стародавнього парусного судна повинен був вирішувати задачу вибору основного експлуатаційного режиму, визначаючи, скільки і яких вітрил здатне нести судно при ясній погоді без серйозного ризику раптової відмови вітрильного озброєння. І сучасний старший механік повинен вирішувати задачу запобігання раптової відмови головного

двигуна, вибираючи режим його роботи з урахуванням завантаження судна, обростання його корпусу, погодних умов і технічного стану самого двигуна. І той, і інший повинні вирішувати завдання своєчасного обслуговування та ремонту суднових технічних засобів з урахуванням зміни їх технічного стану.

Аналіз показує, що ця спільність обумовлена інформаційними процесами, необхідними для вирішення завдань технічної експлуатації СЕУ. До недавнього часу технологічні процеси збору та аналізу інформації, і тим більше, прийняття рішень, по суті залишалися прерогативою інтелектуальної діяльності та інтуїції суднових фахівців. Навіть поступове збільшення кількісної складової в вихідній інформації за рахунок все більш широкого застосування контрольно-вимірювальних приладів, систем централізованого контролю і систем технічного діагностування досі не призводило до якісних змін в здійсненні цих процесів.

Сучасний розвиток інформаційних технологій, що використовують нові покоління обчислювальної техніки, комп'ютерні мережі, системи супутникового зв'язку, новітні досягнення вимірювальної техніки, створює передумови для реалізації інформаційних процесів технічної експлуатації СЕУ на якісно новому рівні.

Необхідність такого переходу визначається наростанням протиріччя між збільшенням складності СЕУ і зменшенням чисельності суднових екіпажів. В кінцевому підсумку і те, і інше пов'язане з необхідністю забезпечення конкурентоспроможності судна на фрахтовому ринку. Збільшення складності СЕУ в першу чергу визначається прагненням до підвищення їх економічності і надійності, тобто до зниження паливної та ремонтної складових експлуатаційних витрат, до зниження витрат на страхування судна і до зменшення ризику величезних збитків від наслідків аварій і екологічних катастроф через відмови СЕУ. Скорочення чисельності екіпажу дозволяє істотно зменшити експлуатаційні витрати за рахунок економії коштів на його утримання.

Розвиток методів технічної експлуатації СЕУ на базі інформаційних технологій вимагає високого рівня формалізації процедур збору, обробки та аналізу вихідної інформації і її еволюції аж до отримання потрібного рішення, тобто якісно іншого рівня організації інформаційного середовища.

В умовах ринкової економіки широке використання таких інформаційних технологій в технічній експлуатації СЕУ буде життєздатним тільки в тому випадку, якщо воно забезпечить судновласникам збільшення прибутку. Тому одним із важливих завдань є реалізація можливості перспективних інформаційних технологій для отримання оптимальних з цієї точки зору рішень.

Однак для отримання системного ефекту, що виходить за рамки окремого судна або судноплавної компанії, недостатньо реалізувати можливості використання прогресивних інформаційних технологій у вирішенні завдань технічної експлуатації СЕУ. Для цього необхідно переглянути її концепцію в цілому, починаючи від технічних умов на поставку обладнання при будівництві судна і закінчуючи комплексом організаційно-технічних рішень в сфері діагностування, обслуговування та ремонту суднових технічних засобів.

Переважає більшість морських судів обладнано дизельними СЕУ. В останні роки умови їх експлуатації істотно змінилися: практично на всіх режимах головні двигуни повинні працювати на низькоякісних важких паливах, застосування у все більших масштабах, засобів автоматизації і діагностування супроводжується скороченням чисельності екіпажів, переходом на безвахтне обслуговування і зменшенням обсягів ремонтно-профілактичних робіт, виконуваних силами персоналу машинного відділення.

У цих умовах недостатня ефективність рішень основних завдань технічної експлуатації стримує реалізацію потенційних можливостей підвищення прибутковості і конкурентоспроможності судів.

До недавнього часу найбільша увага приділялася наукового забезпечення проектно-конструкторських розробок і технологічних процесів виготовлення суднових технічних засобів і набагато менше – науково-методичним проблемам їх технічної експлуатації.

Таким чином можна констатувати наявність проблеми, що має важливе народногосподарське значення, що полягає в необхідності концептуального перетворення системи технічної експлуатації суднових енергетичних установок на базі інформаційних технологій з урахуванням умов ринкової економіки.

Література:

1. Абрамов О.В. та ін. Параметрична корекція систем управління / О.В. Абрамов, Ф.І. Бернацкій, В.В. Здор. М.: Енергія, 1982. – 176с.
2. Аведьян Е.Д., Ципкин Я.З. Узагальнений алгоритм Камчажа // Автоматика і телемеханіка. 1979. N1. – С.72-78.
3. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: Довідник/А.З. Гріщенко, В.П. Грішук, В.М. Денісенко і ін.; Під ред. Б.Б. Тимофеева. К.: Техніка, 1983. – 351с.
4. Атанасов А.Н., Павлюченков А.М., Шегалов І.Л. Діагностика суднових дизельних установок за допомогою ЕОМ // Зб. науков.тр. / ІМФ. Л., 1976.-Вип.214. Суднові енергетичні установкі. С. 38-53.

5. Баєв А.С., Шишкін В.А. Перспективи розвитку річкового транспорту на базі амфібійних суден // ВІНІТІ. Транспорт. 1994.-N 6, с. 7-14

6. Блінов Е.К., Розенберг Г.Ш. Технічне обслуговування та ремонт суден за станом: Довідник СПб.: Суднобудування, 1992. – 192 с.

Development of technical operation of ship power plants based on information technologies

Карпура І. А.

Pervomaisk branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaisk.

Abstract. The report considers the optimal need for a conceptual transformation of the system of technical operation of marine power plants on the basis of information technology, taking into account the conditions of a market economy.

Keywords: energy, technological processes, operation, optimization, information technology, development.

УДК 621.4:629.5

АНАЛІЗ СКЛАДУ ТА СХЕМНИХ РІШЕНЬ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ГІБРИДНОГО ТИПУ

Горбов В. М.

*кандидат технічних наук, професор
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
viktor.gorbov@nuos.edu.ua*

Мітенкова В. С.

*кандидат технічних наук
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
vera.mytenkova@nuos.edu.ua*

Єлеонська О. С.

*старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
olga.yeleonska@nuos.edu.ua*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Представлено стислий огляд гібридних енергетичних установок сучасних транспортних суден. Проаналізовано фактори, що обумовлюють різноманітність схемних рішень гібридних установок, які включають тип пропульсивних установок та спосіб вироблення електричної енергії. Наведено основні переваги установок такого типу.

Ключові слова: альтернативні палива, суднові гібридні енергетичні установки, екологічні характеристики, система розподілу енергії

Інтерес до суднових енергетичних установок гібридного типу (СГЕУ) суттєво посилюється у останні роки, що пов'язано з введенням більш жорстких екологічних вимог для

суден. Оскільки використання СГЕУ дає змогу знизити рівень всіх нормованих компонентів атмосферної емісії (оксидів азоту, сірки, вуглецю та тверді частки).

Як і механічні та електричні суднові енергетичні установки (СЕУ) гібридні можуть застосовуватися на різних типах транспортних суден, а також мають різноманітну конфігурацію, що відрізняється складом, типом та схемами роботи основного обладнання. ГСЕУ є фактично комбінацією механічних та електричних СЕУ, поєднуючи їх переваги при ефективних схемних рішеннях та раціональній експлуатації, в основі якої є оптимальний баланс між виробництвом та розподілом енергії між різними складовими. Одна із можливих конфігурацій ГСЕУ, розроблена компанією Anglo Belgian Corporation, представлена на рис. 1. Відповідні рішення представлені й провідними у морській галузі компаніями Wärtsilä, MAN Energy Solution, Rolls-Royce та іншими.

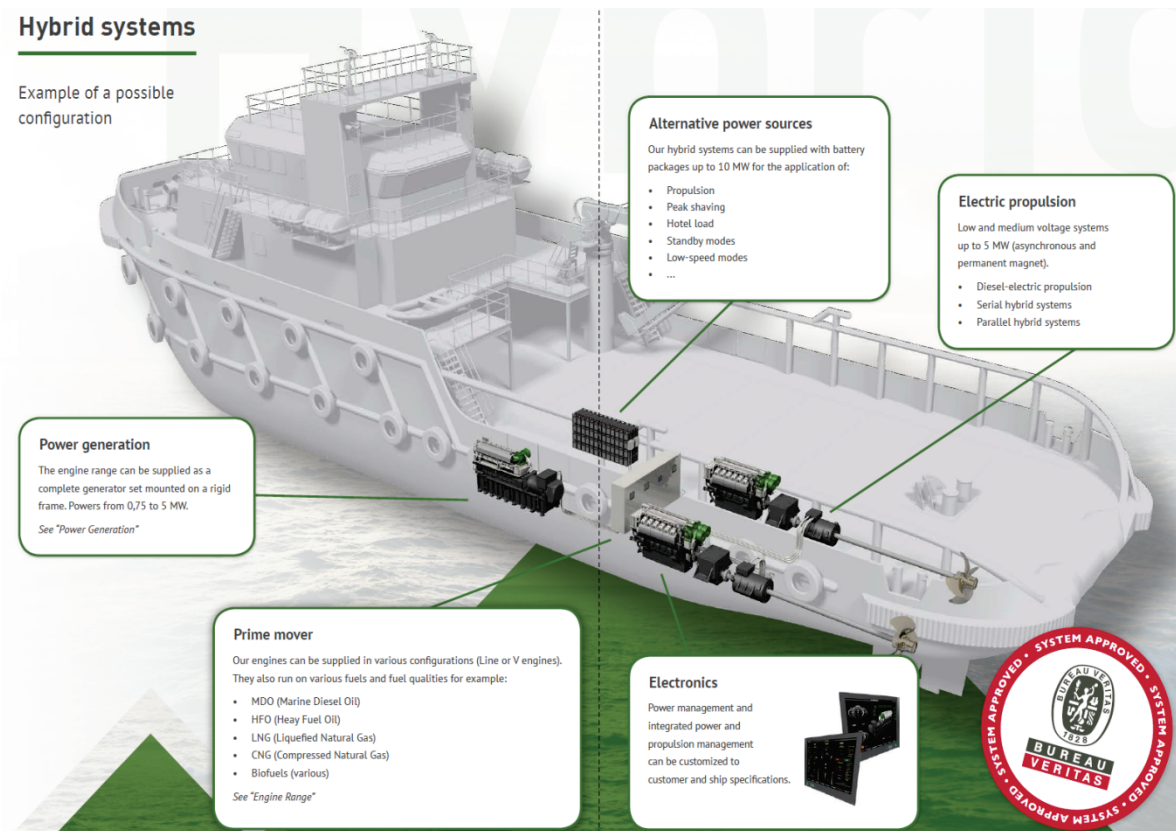


Рис. 1 Конфігурація суднової енергетичної установки гібридного типу

Різнманітність можливих конфігурації гібридних СЕУ досягається насамперед за рахунок реалізації декількох типів пропульсивних установок, а саме:

- електричний пропульсивний комплекс, де гребні гвинти (ГГ) приводяться в дію електродвигунами, що, в свою чергу, живляться через головний розподільчий щит;

- механічна енергія на ГТ подається через редуктор, що за допомогою валопроводу з'єднано з головним дизельним двигуном та з електродвигуном, що живиться з суднової електростанції або, при необхідності, може працювати як валогенератор;
- головний дизель-генератор (один або декілька) живить електродвигун, з'єднаний з гвинтом.

Варіація у схемних рішеннях також досягається різним обладнанням, задіяним у виробництві електричної енергії:

- дизель-генератори (головні та допоміжні, або тільки головні);
- валогенератори;
- акумуляторні батареї;
- паливні елементи;
- берегове живлення через спеціальне обладнання (на стоянкових режимах).

При цьому ГСЕУ можуть споживати не тільки морські нафтові палива, але й альтернативні, включаючи природний газ, метанол, рідкі та газоподібні біопалива, що також підвищує екологічну ефективність суден.

Окрім покращення екологічних характеристик перевагами оснащення суден ГСЕУ є:

- гнучкість у виборі палив (особливо якщо у складі є паливні елементи);
- ефективна робота установки в широкому діапазоні навантажень (за рахунок швидкого переключення або вимкнення окремого обладнання);
- підвищення надійності та безвідмовності СЕУ в цілому (оскільки потреби в енергії можуть одночасно задовольнятися з різних джерел).

Література:

1. Anglo Belgian Corporation, 2018, Marine engines. Power & propulsion solutions. Available from: <http://www.abc-engines.com/>
2. Nengqi Xiao, Riping Zhou, Xichen Lin. Type selection and design of hybrid propulsion system of ship // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 157 (2016) 012034, doi:10.1088/1757-899X/157/1/012034.
3. Geertsma R.D. et al. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments // Applied Energy 194 (2017) 30–54.
4. Wärtsilä, 2018, Wärtsilä HY. Available from: <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/wartsila-hy-2018.pdf>.
5. Wärtsilä, 2018, Wärtsilä HY Tug propulsion system. Available from: https://www.wartsila.com/docs/default-source/marine-documents/business-white-papers/white-paper_wartsila-hy-tug-propulsion-system.pdf.

ANALYSIS OF COMPOSITIONS AND SCHEMES OF HYBRID TYPE SHIP POWER PLANTS

Gorbov V. M., PhD, Prof, Head of the Department

Mitienkova V. S., PhD, Assoc. Prof

Yeleonska O. S., senior lecturer

Department of Ship Power Plants Operation & Heat-power Engineering

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. A brief review of hybrid power plants of modern transport ships is demonstrated. Factors, specifying variety of hybrid plants and considering types of propulsion and electrical generating sources, are analysed. Main advantages of power plants under discussion are given.

Keywords: alternative fuels, ship hybrid power plants, ecological parameters, energy management system

УДК 621.4:629.5

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ СУДНОВИХ МАЛООБЕРТОВИХ ДВИГУНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ EGR

Компаніченко О.П., Термов С.В.

магістранти енерготехнічного факультету

Херсонська філія Національного університету кораблебудування

ім. адм. Макарова м. Херсон, Україна

Анотація. Світовий транспорт виробляє 13 % від загального обсягу викидів парникових газів. З них на морський флот припадає лише 3 %. Однак через інтенсивний розвиток флоту за останні п'ять років цей показник зріс удвічі: більш потужні силові установки вимагають більше палива, кількість суден збільшується, пропорційно зростає і обсяг шкідливих викидів.

Ключові слова: оксиди азоту, IMO, TIER III, EGR.

В даний момент нормованим для суднових двигунів параметром є тільки викиди оксидів азоту (NO_x) відповідно до Конвенції МАРПОЛ. У процесі згоряння палива в двигуні утворюється цілий ряд з'єднань, які потрапляють в атмосферу, але оксиди азоту є найбільш шкідливими. У дизельному двигуні вони становлять від 30 до 80 % загального обсягу викидів. З 2000 року судові двигуни на стадії виготовлення проходять випробування на вміст NO_x у відпрацьованих газах і отримують так званий технічний файл, де вказуються еталонні значення для різних режимів роботи. До 2010 року діяв стандарт TIER I (допускав 17 грамів NO_x на кіловат-годину), до 2016 року діяв TIER II (14,4 г), а з 2016 вступив в силу стандарт TIER III (відповідно до якої кількість зменшилася на 80 % у порівнянні із TIER I).

У зв'язку з посиленням норм щодо викидів, виникла необхідність в розробці спеціальних методів зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами дизелів. Ці методи поділяються на дві групи.

Первинні методи зниження викидів NO_x засновані на зменшенні температури в зонах горіння палива. Оскільки температура є основним фактором при утворенні NO_x , то цей метод досить ефективний.

Вторинні методи засновані на хімічній нейтралізації NO_x перед випуском відпрацьованих газів в атмосферу.

Взявши за основу успішний досвід використання методу SCR (зменшення рівня NO_x додаванням реагенту в присутності каталізатора) в індустрії вантажного транспорту і його найкращі економічні показники, німецький концерн MAN почав розробку обладнання для суднових дизельних двигунів. Так народилася система MAN SCR. Одною з головних переваг системи SCR є низька витрата палива, що доведено не тільки стендовими випробуваннями, а й багаторічним досвідом використання. Витрата діючої речовини (сечовини) становить орієнтовно 5-7 % витрати палива.

Принцип роботи простий: за допомогою дозуючого пристрою в змішувач потрапляє охолоджений у допоміжному модулі реагент (сечовина, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), далі в присутності каталізатора суміш вихлопних газів і реагенту розкладається на азот і воду. Отриманий таким способом азот йде в атмосферу, а вода охолоджується і виходить за борт.

При використанні MAN SCR не потрібна установка додаткового протипожежного обладнання, тому що в якості реагенту використовується не вибухонебезпечна речовина, а сечовина, яка не запалюється.

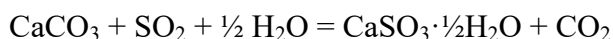
Двигуни з системою MAN SCR вже сьогодні відповідають нормам Tier III.

До основних складових частин скрубера відносяться: корпус скрубера; система зрошення з відцентровими тангенціальними форсунками; з поплавцевим пристроєм регулювання рівня шламу; система аварійного відключення подачі води.

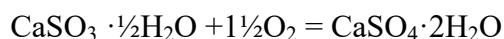
Призначення скрубера в цілому – очищення димових газів від пилу, що утворюється при спалюванні дисперсного вуглевміщуючого матеріалу в допалювачів. Корпус скрубера призначений для організації потоків газу і крапель води. Система зрошення призначена для подачі і розпилення води в корпусі скрубера. Механізм відведення шламу призначений для автоматичного відведення шламу з корпусу скрубера. Система аварійного відключення подачі води призначена для відключення подачі води при неможливості відведення шламу з корпусу скрубера.

Скрубер функціонує наступним чином: газ надходить на очистку, подається по похилому газоходу в нижню частину скрубера і піднімається по корпусу вгору. У верхній частині скрубера розташовані 3 ярусу зрошення, що складаються з відцентрових форсунок. Вапняно-водна суспензія (водний розчин CaCO_3), який подається під тиском,

розпорошується. Утворені краплі водного розчину CaCO_3 падають під дією сили тяжіння назустріч забрудненого газу. Уловлювання частинок пилу краплями води відбувається під дією інерційного і дифузійного механізму, гідродинамічних і електростатичних сил і турбулентної дифузії. Очищення газу від оксиду сірки (SO_2) відбувається по абсорбційній технології. При контакті вапняно-водяної суспензії з газом відбувається реакція:



Кисень, що знаходиться в продуктах згоряння, доокислює сульфат кальцію в нейтральний сульфат (гіпс):



Відпрацьований водний розчин, що містить гіпс CaSO_4 і уловлений пил, збирається в нижній частині скрубера. Очищений газ відводиться через газоходи, розміщені у верхній частині апарату. Для випуску шламу передбачено спеціальний пристрій, що складається з камери поплавця і дроселя регулятора, який підтримує заданий рівень шламу в бункері.

Висновки. Проблема екологічності двигунів виходить сьогодні на перший план при проектуванні судових енергетичних установок. Суспільство занепокоєне глобальними проблемами зміни клімату на Землі і побудило до створення великої кількості обмежень та норм до відхідних газів СДУ. SCR-технологія добре відпрацьована і заснована на застосуванні дозованого впорскування розчину сечовини в потік відпрацьованих газів на вході в каталітичну установку, відновлює NO_x до азоту і води.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Авдевин Д.Е. Повышение экологической безопасности дизельных установок судов выбором рациональной технологии нейтрализации оксидов азота в отработавших газах: Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. – СПб.: СПГУВК, 2003.
2. Гладкая Н.Г. Очистка отходящих газов энерготехнологического оборудования газовой промышленности от оксидов азота с использованием продуктов термодеструкции карбамида: Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. – М, 2004.
3. Vestergren, R., "Single-digit NO_x Emissions for Cruise Vessels", Wartsila NSD Marine News, 1999 (3).
4. Weisser, G., FX Tanner, K. Boulouchos, J. Kramer, and R. Holtbecker, "Integrating CRFD Simulations into the Development Process of Large Diesel Engine: A Status Report", CIMAC 98 Paper No. 05.09 1998.
5. MARPOL Convention 73/78, Annex VI, IMO, London.
6. Andrzej Adamkiewicz, Kołwzan Krzysztof. Technologies reducing exhaust gas emissions from large marine diesel engines // international congress of combustion engines ptncs kongres – 2007.

7. Jerzy Herdzyk. Emissions from marine engines versus IMO certification and requirements of TIER 3 / Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2, 2011. – PP. 161-167.

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF SHIP LOW-ROTATE ENGINES WITH THE HELP OF EGR TECHNOLOGY

Kompanichenko OP, Termov SV
undergraduates of the Faculty of Energy Engineering
Kherson branch of the National University of Shipbuilding
them. adm. Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. World transport produces 13% of total greenhouse gas emissions. Of these, the navy accounts for only 3%. However, due to the intensive development of the fleet over the past five years, this figure has doubled: more powerful power plants require more fuel, the number of ships increases, and proportionally increases the amount of harmful emissions.

Key words: nitrogen oxides, IMO, TIER III, EGR.

УДК 629.5

ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ВІЙСЬКОВИХ КОРАБЛІВ

Кузнецов Георгій Валерійович,
бакалавр, магістрант¹,
Яковлев Михайло Федорович,
бакалавр, магістрант²

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова
kuznetsov.heorhiy@gmail.com¹, ORCID: 0000-0002-1028-4102
mishaturbinist@gmail.com², ORCID: 0000-0002-8411-9345

Анотація. В роботі наданий аналіз стану сучасного стану корабельної енергетики. Представлена класифікація кораблів за стандартом НАТО.

Ключові слова: корабель; класифікація; пропульсивна установка; корабельна енергетична установка.

Кораблі військово-морського флоту входять в систему збройних сил держав, що мають кордони, що проходять по водних просторах. Поява на кораблях ракетно-ядерної зброї і бойової радіоелектронної техніки різко змінило умови бойових дій на морі. У зв'язку з цим втратили значення традиційні класи кораблів. На зміну їм прийшли кораблі з новими тактико-технічними даними, здатні виконувати різноманітні задачі [1], табл. 1.

Патрульний катер – це порівняно невелике військово-морське судно, призначене, як правило, для берегової оборони, охорони кордону, імміграційних правоохоронних органів, пошуково-рятувальних служб [4]. Приклад патрульного катеру – **Mark VI**.

Mark VI — бойовий катер виробництва SAFE Boats International, США. Призначений для постійного патрулювання прибережної зони за межами портів та бухт, забезпечувати захист дружніх та союзних сил і захист критичної інфраструктури. Енергетична установка Mk VI складається з двох дизельних двигунів MTU 16V2000M94 (5200 к.с.) з водометами Hamilton HM651, що забезпечують максимальну швидкість 35 вузлів і короточасну максимальну швидкість у 41 вузол. Дальність ходу цього катера при крейсерській швидкості в 30 вузлів – до 750 миль [3].

Таблиця 1 Класифікація кораблів за стандартами НАТО

Тип	Водотоннажність	Головні розміри	Призначення
Cruiser	9800 – 25,860 т	Довжина – 173 – 258 м Ширина – 16.8 – 28.5 м Осадка – 8.4 -10 м	Боротьба з силами флоту, оборона з'єднань бойових кораблів і конвоїв суден, вогнева підтримка сухопутних військ і т.п.
Destroyer	3900 – 15,907 т	Довжина – 147.7 – 180 м Ширина – 16.1 – 17 м Осадка – 5 -6.6 м	Боротьба з підводними човнами, літальними апаратами і кораблями противника, охорона з'єднань кораблів або конвоїв суден при переході моря
Frigate	1800 – 6050 т	Довжина – 103 – 146.7 м Ширина – 10 – 14.8 м Осадка – 3 -4.75 м	Пошук і знищення підводних човнів, протиповітряна і протиракетна оборона.
Corvette	485 – 2400 т	Довжина – 58.5 – 103.4 м Ширина – 9 – 17 м Осадка – 2 -5.25 м	Сторожова і конвойна служби, протичовнова і протиповітряна оборона.
Patrol boat	49 – 550 т	Довжина – 20.8 – 56.8 м Ширина – 5.8 – 7.6 м Осадка – 1.8 -2.7 м	Дозорна служба, протичовнова, протиповітряна оборони корабельних з'єднань і конвоїв в морі в прибережних районах і на відкритих рейдах

Таблиця 2 Характеристики кораблів за стандартами НАТО

Кораблі, прикладі	Водотоннажність, Головні розміри	Склад KEY	Пропульсивний комплекс	Питома потужність, кВт/т
Ticonderoga	Водотоннажн.- 9600 т. Довжина – 173 м Ширина – 16.8 м Осадка – 10.2 м	4 ГТУ General Electric LM2500	-	6,10
Brandenburg	Водотоннажн.- 3600 т. Довжина – 138.85 м Ширина – 16.7 м Осадка – 4.35 м	CODOG 2× MTU 20V 956 TB92, 8.14 MW, General Electric LM2500 gas turbines, 2×18 MW	two shafts, 2× CPP, two Renk BGS 178 Lo gearboxes	10,6
Ada	Водотоннажн. – 2400 т. Довжина 99,56 м Ширина 14,40 м Осадка 3,90 м	CODAG 1 x gas turbine (23000 kW / 2 x diesel engines (4320 kW)	2 shafts, 2 propellers	13,2
HSwMS Helsingborg	Водотоннажн. – 660 т. Довжина – 16 м Ширина – 3.1 м Осадка – 1.2 м	CODAG 4 × Honeywell TF50A gas turbines, total rating 16 MW, 2 × MTU16V 2000N90 diesel engines, total rating 2.6 MW	2 ×KaMeWa waterjets	28,2
Scimitar, Royal Navy	Водотоннажн.- 24 т. Довжина – 16 м Ширина – 3,1 м Осадка – 1,2 м	Два дизельні двигуни MAN 2480LXE	-	29,4
Mark VI., (USA)	Водотоннажн. – 65 т. Довжина – 25 м Ширина – 6,7 м Осадка – 1,2 м	2 × MTU 16V 2000 M94	2 waterjets	58,8

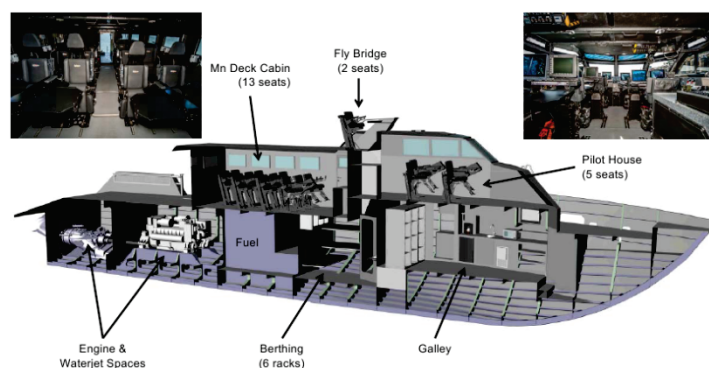


Рис.1 Конструкція катеру Mark VI

Корвет – це маленький військовий корабель з водотоннажністю в межах 500 до 2000 тонн, хоча останні конструкції можуть наближатися до 3000 тонн, які натомість можна вважати невеликим фрегатом [4]. Приклад корвету – HSwMS Helsingborg (K32).

Корвети стелс класу Visby були побудовані для ВМС Швеції компанією Kockums (дочірньою компанією ThyssenKrupp Marine Systems, Німеччина) [5].

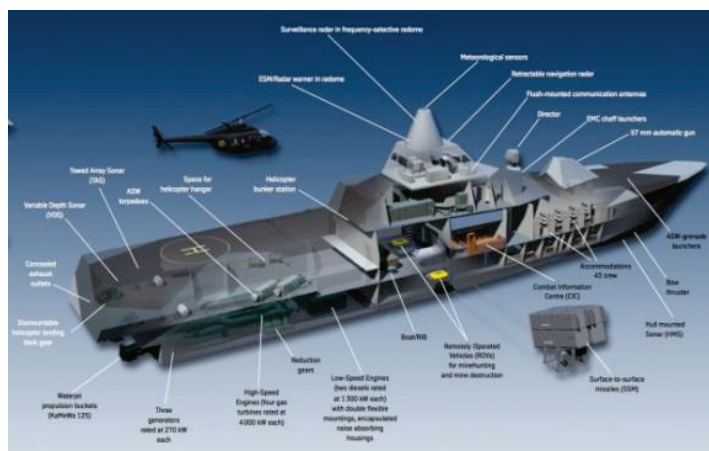


Рис.2 Конструкція корвету HSwMS Helsingborg (K32).

Visby обладнаний комбінованим дизельним двигуном та газовою турбіною (CODAG). Чотири газові турбіни TF 50 A від Honeywell (загальна потужність 16 000 кВт) і два дизельні двигуни MTU 16V 2000 N90 (загальна потужність 2600 кВт) з'єднані з двома редукторами, які працюють від двох водометних рушіїв Kamewa. Двигуни забезпечують максимальну швидкість 15 вуз. на тривалий термін і 35 вуз. на короткий термін.

Фрегат — клас військових кораблів водотоннажністю до 4000 тонн. Швидкість понад 30 вузлів (55 км/год), озброюється протичовновими і зенітними ракетними комплексами; служить для пошуку і знищення підводних човнів, протиповітряної і протиракетної оборони

кораблів (суден) [6]. Приклад фрегату – Бранденбург». Фрегати типу «Бранденбург» F123 серія німецьких фрегатів, розроблених для ВМС ФРГ. Кораблі забезпечені зенитно-ракетним, артилерійським та мінно-торпедним озброєнням, авіаційна група складається з 2 вертолетів Westland Lynx.



Рис.3 Конструкція фрегату «Бранденбург»

Фрегати типу «Бранденбург» мають комбіновану двовальну головну енергетичну установку за схемою CODOG у складі двох дизельних двигунів 20B 956 TB92, та двох ГТУ в складі ГТД LM 2500 9A-ML, зубчато-планетарних редукторів, які забезпечують роботу п'ятилопастних гвинтів [7].

Висновки:

1. В сучасній корабельній енергетиці широко використовуються комбіновані енергетичні установки типу CODOG або CODAG, питома потужність яких може бути 10...28 кВт/т.

2. Енергетичні установки кораблів малої водотоннажності мають високу питому потужність на рівні 25...60 кВт/т.

Література:

1. Классификация кораблей военно-морских сил: веб-сайт. URL <https://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/5.htm> (дата звернення 14.10.2021).

2. Патрульный катер: веб – сайт. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Patrol_boat (дата звернення 14.10.2021).

3. MK VI Patrol Boats: веб-сайт. URL: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2018/06/18/mk-vi-patrol-boats/> (дата звернення 14.10.2021).

4. Корвет: веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Corvette> (дата звернення 14.10.2021).

5. Visby class corvette: веб-сайт. URL: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2020/01/26/visby-class-corvette/> (дата звернення 14.10.2021).

6. Фрегат: веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Frigate> (дата звернення 14.10.2021).

7. Type 123 Brandenburg class Frigate: веб-сайт. URL: <https://www.seaforces.org/marint/German-Navy/Frigate/Type-123-Brandenburg-class.htm> (дата звернення 14.10.2021).

POWER PLANTS OF NAVAL SHIPS

Kuznetsov H.V., Yakovlev M.F.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The work provides an analysis of the current state of ship power engineering. The classification of ships according to the NATO standard is presented.

Key words: ship; classification; propulsion plant; ship power plant.

Секція № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 621.431.74

ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА ИЗ СОПЛОВЫХ КАНАЛОВ ГАЗОПОДАЮЩЕГО МОДУЛЯ МАЛООБОРОТНОГО ГАЗОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Белоусов Е.В.

доктор технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Савчук В.П.

кандидат технических наук, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Самарин А.Е.

кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Белюсова Т.П.

старший преподаватель кафедры менеджмента и информационных технологий Херсонского государственного аграрно-экономического университета.

Рыбальченко Н.Е.

аспирант кафедры эксплуатации судовых энергетических установок Херсонской государственной морской академии.

Аннотация. Существенным резервом повышения эффективности рабочих процессов судовых газодизельных малооборотных двигателей является совершенствование процессов подачи газового топлива в рабочий цилиндр. В дополнение к уже реализованным концепциям подачи газового топлива под низким и высоким давлением, авторами обоснована перспективность использования средних давлений. Это позволит, сохранив основные преимущества известных методов, существенно сократить свойственные им недостатки.

Ключевые слова: газодизельные малооборотные двухтактные двигатели, газовое топливо, газоподающий модуль, пилотное зажигание.

Мировой торговый флот находится в процессе динамичных преобразований, продиктованных меняющимся законодательством, ростом экологических требований и все более жесткой конкуренцией на рынке перевозок. Как инструмент решения проблем, стоящих перед отраслью, рассматривается перевод судовых двухтактных малооборотных двигателей внутреннего сгорания (МОД) на газовые топлива (ГТ) [1]. Важным сдерживающим фактором является то, что для МОД существуют ограничения, связанные с особенностями организации рабочего процесса, не позволяющие в полной мере применить опыт по переоборудованию на ГТ других типов двигателей [2]. Каждый производитель развивает собственную концепцию, направленную на решение данной проблемы [2, 3]. На сегодняшний день, наметились две принципиально различные концепции – подача ГТ непосредственно в рабочий цилиндр в начале такта сжатия под давлением 1,2...1,6 МПа и впрыск ГТ под давлением 20...30 МПа в камеру сгорания в конце такта сжатия. [2-4]. Каждой из этих концепций присущи, как преимущества, так и определенный набор недостатков [5].

В частности концепция подачи ГТ под низким давлением позволяет: получить низкий уровень выбросов, соответствующий стандарту Tier III, без дополнительной обработки отработавших газов; создать простую, надежную и экономичную систему подачи ГТ с минимальным количеством компонентов; обеспечить стабильную работу на ГТ в диапазоне эксплуатационных режимов.

Фирма Wärtsilä является основным разработчиком концепции «низкого давления», которая основана на сжигании в рабочем цилиндре обедненной газозоудушной смеси, которая в ходе процесса сжатия гомогенизируется и сгорает при большом избытке воздуха. ГТ подмешивается заряду в начале хода поршня на такте сжатия. В конце такта сжатия воздушно-топливный заряд воспламеняется за счет впрыска пилотной порции топлива в количестве, не превышающем 1% от расхода топлива при полной нагрузке. Для обеспечения стабильного зажигания пилотное топливо впрыскивается в форкамеры.

Отрицательным моментом продолжительного сжатия является образование пероксидов, являющихся причиной возникновения детонационных процессов. Двигатели с подачей ГТ под высоким давлением лишены этого недостатка.

Кроме уже реализованных подходов могут быть использованы другие варианты подачи ГТ, связанные с его поступлением в рабочий цилиндр на части рабочего хода поршня под давлением 4,0...6,0 МПа. В этом случае появляется возможность сочетать преимущества обоих реализованных на практике методов и существенно сократить свойственные им недостатки [6-8]. Эффективным методом борьбы с детонационным сгоранием, имеющем место в двигателях низкого давления, является сокращение времени пребывания газозоудушной смеси в рабочем цилиндре двигателя на такте сжатия [6, 7]. Это время зависит от давления, под

которым ГТ подводится к газоподающему модулю (рис. 1) и от особенностей истечения через его проточную часть [8]. При таком способе подачи газоподающие модули должны быть установлены в верхней части втулки цилиндра (рис. 2) или в его крышке.

Далее представлены результаты проведенного авторами исследования влияния элементов проточной части на формирование траекторий движения ГТ и параметров его истечения из соплового канала газоподающего модуля в рабочий цилиндр в условиях меняющегося противодействия.

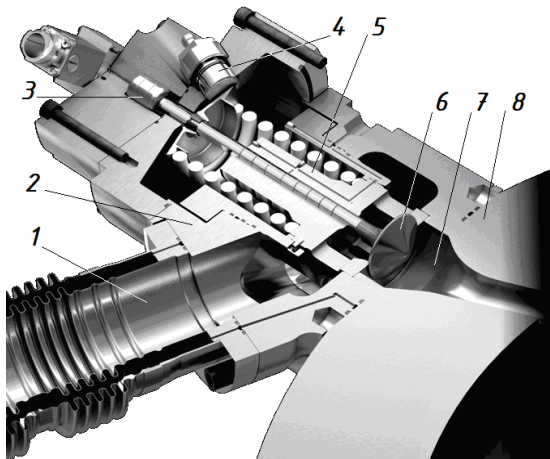


Рисунок 1 – Трехмерная модель газоподающего модуля двигателя W-X62DF: 1 – подвод ГТ; 2 – корпус; 3 – гидравлический поршень; 4 – датчик закрытия; 5 – направляющая втулка; 6 – клапан; 7 – сопловый канал; 8 – втулка цилиндра

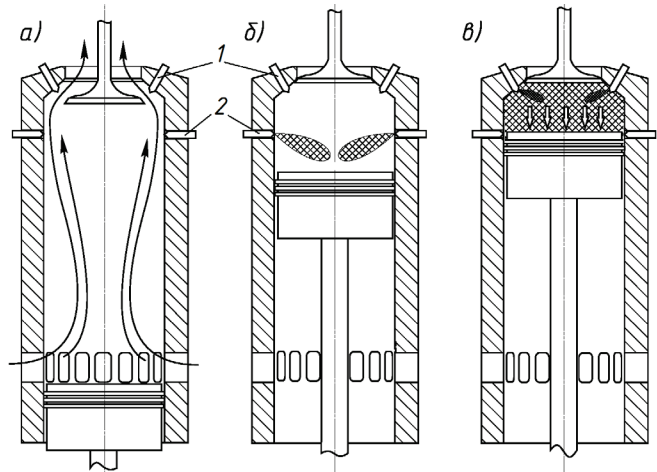


Рисунок 2 – Система подачи газового топлива среднего давления: а – продувка цилиндра; б – подача газа, воспламенение и сгорание; в – рабочий ход: 1 – запальный модуль; 2 – газоподающий модуль

Канал сопловой вставки и прилегающая к нему камера с газовым клапаном формируют сложные траектории движения ГТ на пути от газовой магистрали к полости рабочего цилиндра, что существенно влияет на расходные характеристики. Для исследования этого влияния была разработана трехмерная модель газоподающего модуля в среде SolidWorks.

Использование трехмерного газодинамического моделирования позволяет варьировать отдельными параметрами проточной части модуля, исследуя параметры потока ГТ на выходе из соплового канала в рабочий цилиндр с учетом значения действующего противодействия. Пример моделирования формирования траекторий газовых потоков и распределение скоростей представлено на рис. 3, где показано изменение числа Маха вдоль траектории движения газового топлива от газоподводящей магистрали и до выхода из соплового канала.

Основные параметры потока исследовались с учетом траекторий движения ГТ внутри подающего модуля, а так же с учетом профиля соплового канала с минимальными сечениями

от 200 до 500 мм² с шагом в 50 мм². (рис. 4). Давление ГТ перед клапаном во всех случаях принималось равным 4,13 МПа.

Результаты моделирования параметров истечения через исследуемые профили сопловых каналов (рис. 4), показаны на рис. 5. Из представленных данных видно, что истечение ГТ на участке сжатия с противодавлением от 0,73 до 2,3 МПа, происходит в закритической области, а расход ГТ на этом участке остается постоянным. Рост противодавления в ходе процесса сжатия приводит к переходу характера истечения в закритическую область и резкому уменьшению расхода ГТ через сопловый канал.

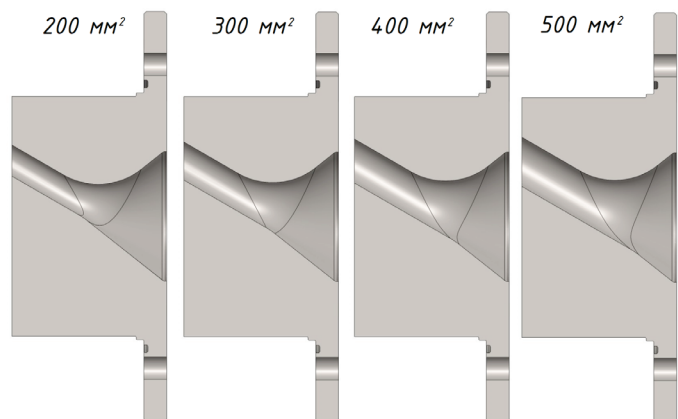
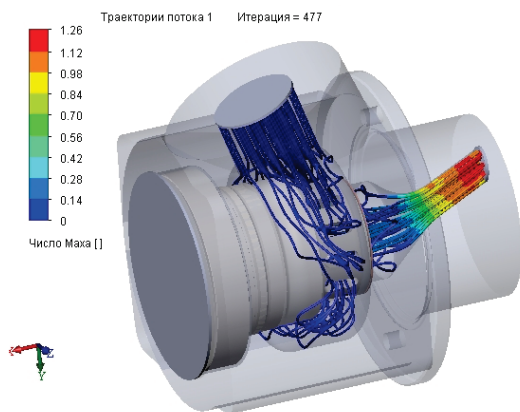


Рисунок 3 – Изменения траекторий и распределение скоростей вдоль газового тракта газоподающего модуля

Рисунок 4 – Сечения сопловых каналов

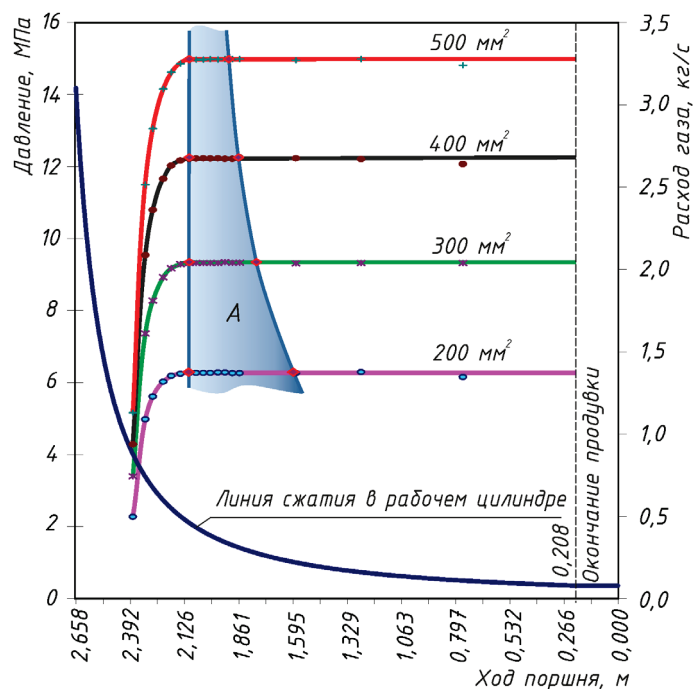


Рисунок 5 – Изменение расходных характери-

При этом момент такого перехода стик газового модуля как функция хода рабочего поршня на линии сжатия да не зависит от минимального сечения соплового канала. В тоже время, увеличение минимального сечения соплового канала увеличивает расходные характеристики, независимо от характера истечения, практически прямопропорционально. Исследование показало, что профилирование входной части канала позволяет в 1,5 раза увеличить его пропускную способность и сдвинуть область подачи (область А на рис. 5) полной цикловой порции ближе к ВМТ, сократив время подачи с 0,03 до 0,0167 с, то есть в 1,8 раза (для сечения 500 мм²). При этом точка перехода характера истечения сдвигается к ВМТ. Смена режима происходит когда поршень проходит 2,10 м, а момент начала подачи сдвигается до 1,91 м. В результате чего участок сжатия газозоудшної суміші скорочується на 47% по сравнению со стандартными параметрами соплового канала.

Литература:

1. McGill, R., Remley, W., Winther, K., Alternative Fuels for Marine Applications. Technical report from the IEA Advanced Motor fuels Implementing Agreement, IEA, Paris. 2013. – 108 p.
2. Juliussen, L.R. MAN B&W ME-GI Engines. Recent research and results. / L.R. Juliusen, M.J. Kryger, A. Andreasen // MAN Diesel & Turbo, Copenhagen, 2012. – 6 p.
3. Wettstein R. The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine. / R. Wettstein // AJOUR Conference, Odense, 2014. – 31 p.
4. Белоусов, Е.В. Топливные системы современных судовых дизелей. – изд. 4-е / Е.В. Белоусов. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 256 с.
5. Белоусов, Е.В. Анализ современных подходов к проблеме создания судовых малооборотных газодизельных двигателей / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, Т.П. Белоусова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 1. – С. 81-88.
6. Belousov, E. Research of the Gas Fuel Supply Process on the Compression Stroke in Ship's Low-Speed Gas-Diesel Engines / E. Belousov, A. Marchenko, I. Gritsuk, V. Savchuk, N. Bulgakov, V. Mitienkova, M. Ahieiev, O. Samarin, R. Vrublevskyi, M. Volodarets, Y. Kalashnikov, S. Pronin // SAE Technical Paper 2020-01-2107, 2020. – 14 p. doi:10.4271/2020-01-2107.
7. Белоусов, Е.В. Организация внутреннего смесеобразования в судовых малооборотных газодизельных двигателях / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, И.В. Грицук, Т.П. Белоусова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2017. – №2. – С. 13-16.
8. Марченко, А.П. Исследование влияния давления подачи и сечений сопловых каналов на процессы топливоподачи в газодизельных малооборотных двухтактных двигателях

низкого давления / А.П. Марченко, Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, В.С. Вербовский // Двигатели внутреннего сгорания. – 2020. – № 1. – С 6-12.

OUTFLOW OF GAS FUEL FROM THE NOZZLE CHANNELS OF THE MODULE FOR GAS SUPPLY OF A LOW-SPEED MEDIUM-PRESSURE GAS-DIESEL ENGINE

E.V. Belousov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants of the Kherson State Maritime Academy.

V.P. Savchuk, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy.

Samarin A.E., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Ship Power Plants of the Kherson State Maritime Academy.

Belousova T.P., Senior Lecturer, Department of Management and Information Technologies, Kherson State Agrarian and Economic University.

Rybalchenko N.E., Post-graduate student of the Department of Operation of Ship Power Plants, Kherson State Maritime Academy.

Annotation. A significant reserve for increasing the efficiency of the working processes of low-speed marine gas-diesel engines is the improvement of the processes of supplying gas fuel to the working cylinder. In addition to the already implemented concepts for supplying gaseous fuel under low and high pressure, the authors substantiated the prospects of using medium pressures. This will allow, while retaining the main advantages of the known methods, significantly reduce their inherent disadvantages.

Key words: low-speed gas-diesel two-stroke engines, gas fuel, gas supply module, pilot ignition.

УДК 629.12.06

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА СУДНА ПРОЕКТУ CNF09

Ніколаєв Є. М

магістр гр.6214м, НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М. С.

*к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Розглянуті питання модернізації системи охолодження дизельного двигуна, що входить до складу енергетичної установки судна проекту CNF09 «Слов'янин».

Ключові слова. Високотемпературне охолодження, регулювання властивостей охолоджуючої рідини, управління параметрів системи охолодження

Актуальність. Основними тенденціями розвитку суднових енергетичних установок (СЕУ) є підвищення паливної економічності і надійності при задоволенні екологічних вимог, що встановлюються нормативами ІМО.

Підвищення економічності СЕУ наразі забезпечується зниженням питомої витрати палива головних і допоміжних двигунів шляхом підвищення тиску наддуву і середнього

ефективного тиску робочого циклу двигунів, що призводить до росту теплових і механічних навантажень на деталі і вузли двигуна. Забезпечення його надійної роботи можливе за умови підтримки безпечного температурного рівня деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), механічних властивостей конструкційних матеріалів і змащувальних властивостей моторного масла. Температурний стан деталей ЦПГ дизеля істотно впливає на характер протікання робочого циклу, індикаторні та ефективні показники, економічність роботи двигуна. Температурний стан деталей ЦПГ визначається функціонуванням системи охолодження (СО) двигуна і ступенем її досконалості.

Модернізація СО є обов'язковою умовою форсування головних і допоміжних суднових дизелів. Системи охолодження сучасних і перспективних суднових дизелів повинні забезпечувати оптимальний і стабільний тепловий стан деталей і вузлів. Оптимальним слід вважати такий температурний рівень, при якому матеріали деталей зберігають міцність, моторні масла зберігають високу змащувальну і несучу здатність, з мінімальними втратами теплоти в системі охолодження. У суднових дизелях застосовуються рідинні СО, що забезпечують тепловідвід необхідної інтенсивності і володіють можливістю гнучкого регулювання теплового стану двигуна.

Пропонована система. Запропоновані наступні напрями модернізації системи охолодження головного двигуна судна проекту CNF09:

- перехід на високотемпературне охолодження;
- регулювання властивостей охолоджуючої рідини;
- вдосконалення автоматичного регулювання параметрів охолодження (тобто управління параметрами систем охолодження і газотурбінного наддуву).

Модернізація системи охолодження двигуна за запропонованими напрямками дозволить підвищити економічність, надійність і екологічну безпеку суднової енергетичної установки.

Ефективні показники двигуна можуть бути підвищені за рахунок скорочення теплових втрат при переході на високотемпературну систему охолодження (ВТСО), яка забезпечує найбільш сприятливі умови для протікання робочого циклу дизеля і поліпшення його індикаторних показників на часткових навантаженнях за рахунок підвищення температури стінок камери згоряння і скорочення періоду затримки запалення; підвищення механічного ККД дизеля в усьому діапазоні навантажень за рахунок зменшення в'язкості масла на дзеркалі циліндра; перерозподілу складових теплового балансу ДВЗ в напрямку зростання частки теплоти, що перетворюється на механічну роботу, і величини втрат теплоти з відпрацьованими газами з одночасним зменшенням відносної величини відводу теплоти в охолоджуючу рідину, що розширює можливості утилізації енергії в системі газотурбінного наддуву і дає можли-

вість зменшити масу і габарити теплообмінних апаратів систем змащення і охолодження двигуна; стабілізацію температурних полів деталей ЦПГ, що, незважаючи на підвищення їх середньої температури, призводить до зниження термічних напружень.

Перехід на ВТСО висуває підвищені вимоги до якості регулювання теплового стану двигуна, так як порушення необхідних режимів охолодження неминуче призводить до перегріву двигуна і різкого зниження ресурсних і економічних показників.

Процеси тепловідведення в рідинних СО супроводжуються кавітаційно-корозійними руйнуваннями елементів систем і утворенням відкладень на охолоджувані поверхнях. З підвищенням рівня форсування двигуна і зростанням теплових і механічних навантажень інтенсивність зазначених процесів зростає. Ці процеси вкрай негативно позначаються на надійності і ефективності ДВЗ. Для запобігання порушенню режимів охолодження необхідно вдосконалювати експлуатаційні властивості охолоджуючих рідин і забезпечувати їх необхідну якість в процесі експлуатації.

Перспективи вдосконалення рідинних СО суднових дизелів пов'язані з рішенням взаємопов'язаних завдань, таких як:

- визначення параметрів охолодження, що роблять найбільш істотний вплив на надійність і ефективність роботи двигуна;
- обґрунтований вибір параметрів охолодження для різних швидкісних і навантажувальних режимів двигуна;
- вдосконалення систем автоматичного регулювання теплового стану ДВС, і пов'язаного управління параметрами систем охолодження і наддуву;
- розробка механізмів, які забезпечують автоматичний контроль і регулювання параметрів охолодження і наддуву.

Перспективними для суднових ДВЗ є ВТСО, в яких температура охолоджуючої рідини перевищує 100°C. Дослідження впливу ВТСО на показники робочого циклу дизеля показали, що при незначному зниженні індикаторного ККД за рахунок зростання механічного ККД має місце підвищення ефективного ККД і перерозподіл теплових потоків: збільшуються втрати з відпрацьованими газами і зменшується частка втрат з охолоджувальною рідиною.

Перехід на високотемпературне охолодження можливий за рахунок підвищення тиску у внутрішньому контурі СО, для цього реалізований принцип підтримання заданого статичного тиску за допомогою стиснутого повітря. Схема такої системи представлена на рисунку.

При запуску двигуна і в період його прогріву температурний рівень забезпечується термостатом 8. Після прогріву двигуна і його роботи на режимах, близьких до максимальної потужності, температура охолоджуючої рідини наближається до температури кипіння, про що на блок 12 управління надходить сигнал від датчика 14. При появі в порожнинах охоло-

дження пристінкового бульбашкового кипіння на блок управління 12 від оптичного датчика 16 надходить сигнал про наявність парової фази. На підставі отриманої інформації блок управління виробляє керуючий сигнал, що подається на клапан 11, через який стиснене повітря від компресора 10 надходить в герметичний розширювальний бак 8, що забезпечує підвищення тиску в системі і виключає можливість переходу бульбашкового кипіння в плівкове.

Максимальний ефект може бути досягнутий за рахунок одночасного вдосконалення властивостей теплоносіїв, вибору найкращих параметрів наддувного повітря і конструктивних модернізацій систем охолодження, спрямованих на створення ізольованих систем високотемпературного охолодження зі змінним тиском охолоджувальної рідини.

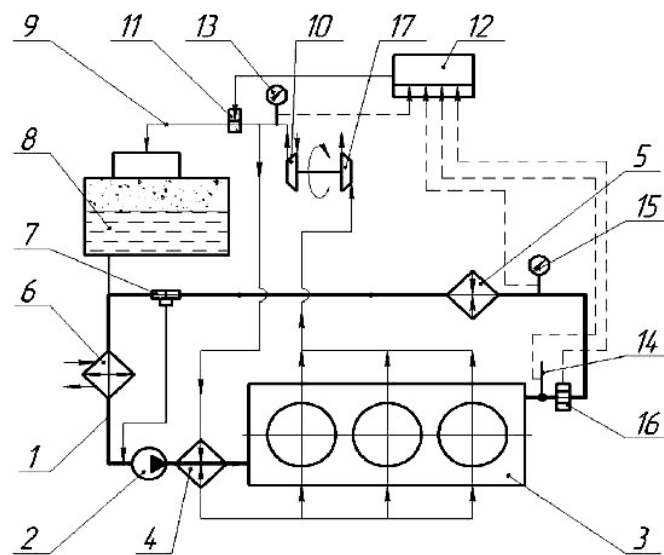


Схема системи охолодження з регулюванням тиску
у внутрішньому контурі:

1 – внутрішній контур СО; 2 – циркуляційний насос; 3 – сорочка охолодження поршневої частини; 4 – охолоджувач наддувного повітря; 5 – водо-масляний охолоджувач; 6 – водоводяний охолоджувач; 7 – термостат; 8 – розширювальний бак; 9 – повітряна магістраль; 10 – компресор; 11 – редукційний клапан; 12 – блок управління; 13 – датчик тиску наддуву; 14 – датчик температури охолоджуючої рідини на виході двигуна; 15 – датчик тиску в системі охолодження; 16 – оптичний датчик присутності в охолоджуючої рідини парової фази; 17 – турбіна

Література

1. Безюков О.К. Современная концепция регулирования охлаждения судовых дизелей / О. К. Безюков, В. А. Жуков, В. Н. Тимофеев // Вестник Государственного университета морского и речного флота. – 2015. – № 3 (31). – С. 93–103.
2. Жуков В.А. Перспективы высокотемпературного охлаждения транспортных ДВС/ В.А. Жуков // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 7–10.

3. Мошенцев Ю.Л. Возможности регулирования температур теплоносителей в альтернативной системе охлаждения дизельных двигателей магистральных тепловозов / Ю.Л. Мошенцев, А.А. Гогоренко, [и др.] // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 10. – С. 92–97.

IMPROVEMENT OF THE COOLING SYSTEM OF THE MAIN ENGINE OF THE CNF09 PROJECT VESSEL

E. Nikolaiev, M. Bondarenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The issues of modernization of the cooling system of the diesel engine, which is a part of the power plant of the ship of the project CNF09 are considered.

Keywords. High-temperature cooling, regulation of properties of cooling liquid, management of parameters of cooling system

УДК 621.431

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Ватаман Руслан Александрович

магистрант,

*Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Херсон, Украина
artem_andreev@ukr.net*

Выявлены закономерности влияния условий эксплуатации судовых систем охлаждения наддувочного воздуха на показатели эффективности теплоиспользующих установок охлаждения наддувочного воздуха (ТУОНВ) и разработаны рекомендации по рациональному их проектированию.

Ключевые слова: ДВС, наддувочный воздух, холодильная установка

Основным направлением повышения эффективности судовых дизельных установок (ДУ) остается использование их вторичных энергоресурсов (ВЭР), и прежде всего, теплоты уходящих газов, в утилизационных пароводяных котлах (УК). Однако для большинства типов судов количество тепловой энергии, вырабатываемой в УК на ходу судна, уже при температуре наружного воздуха $t_{нв} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышает общесудовые потребности в ней, а при $t_{нв} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше это превышение составляет 2,0...2,5 раза. В то же время потребности в холоде, наоборот, резко возрастают, поскольку при высоких температурах забортной воды $t_{зв}$ охладители наддувочного воздуха не обеспечивают достаточного глубокого охлаждения наддувочного воздуха дизелей, которое могло бы нивелировать повышение температуры воздуха

на входе наддувочного турбокомпрессора, что приводит к значительному перерасходу топлива.

Проблема снижения топливной экономичности при повышенных температурах наружного воздуха и забортной воды особенно остро стоит в высоконаддувных дизелях, компрессоры которых обеспечивают высокие степени повышения давления воздуха $\pi_k = 3 \dots 4,5$, а в перспективе и $\pi_k = 5$. Благодаря высоким КПД современных турбокомпрессоров (ТК) $\eta_{\text{ТК}} = 0,70 \dots 0,75$ мощность их утилизационных газовых турбин превышает мощность, необходимую для наддува дизелей. Избыточная энергия уходящих газов реализуется турбокомпаундными системами (ТКС), предусматривающими применение дополнительной газовой турбины, устанавливаемой на байпасной линии уходящих газов в обход наддувочного ТК. Однако эффективность применения ТКС, как и самой ДУ, также снижается с повышением температур $t_{\text{нв}}$ и $t_{\text{зв}}$. Кроме того, приемлемый срок окупаемости таких систем (5...10 лет) возможен при больших мощностях ДУ: 20...60 МВт и выше.

Такие теплоиспользующие установки охлаждения наддувочного воздуха (ТУОНВ) могли бы обеспечить эффективную эксплуатацию ДУ при повышенных температурах $t_{\text{нв}}$ и $t_{\text{зв}}$ и покрыть тот диапазон мощностного ряда ДУ (менее 20 МВт), в котором применение дорогостоящих ТКС не целесообразно.

Оценка избытка мощности утилизационной турбины $N_{\text{Т}}$ над мощностью наддувочного компрессора $N_{\text{к}}$, необходимой для создания требуемого давления наддува, произведена для мощностного ряда малооборотных дизелей (МОД) фирмы "Вяртсиля Нью Зульцер". При этом резерв мощности турбины определяли в виде отношения $\Delta N_{\text{ТК}} = (N_{\text{Т}} - N_{\text{к}})/N_{\text{к}}$.

Расчеты выполнены с учетом влияния температуры окружающего воздуха $t_{\text{ов}}$ на входе компрессора ТК на температуру уходящих газов $t_{\text{Г1}}$ на входе утилизационной турбины ТК: $t_{\text{Г1}} = f(t_{\text{ов}})$. Так, согласно данным фирм "МАН – Бурмейстер и Вайн" и "Вяртсиля Нью Зульцер" повышение температуры наружного воздуха на входе ТК на 10 °С вызывает возрастание температур газов на выходе из ДВС на 16 °С.

Учитывали также зависимость КПД компрессора $\eta_{\text{к}}$ от степени повышения давления $\pi_{\text{к}}$: $\eta_{\text{к}} = 0,85$ при $\pi_{\text{к}} = 3$ и $\eta_{\text{к}} = 0,80$ при $\pi_{\text{к}} = 4$.

Результаты расчета избытка мощности турбины сверх необходимой мощности компрессора $\Delta N_{\text{ТК}}$ в зависимости от температуры окружающего воздуха $t_{\text{ов}}$ на входе ТК, выполненного для малооборотного дизеля 5RTA 52 мощностью $N_e = 8000$ кВт, представлены на рис. 1.

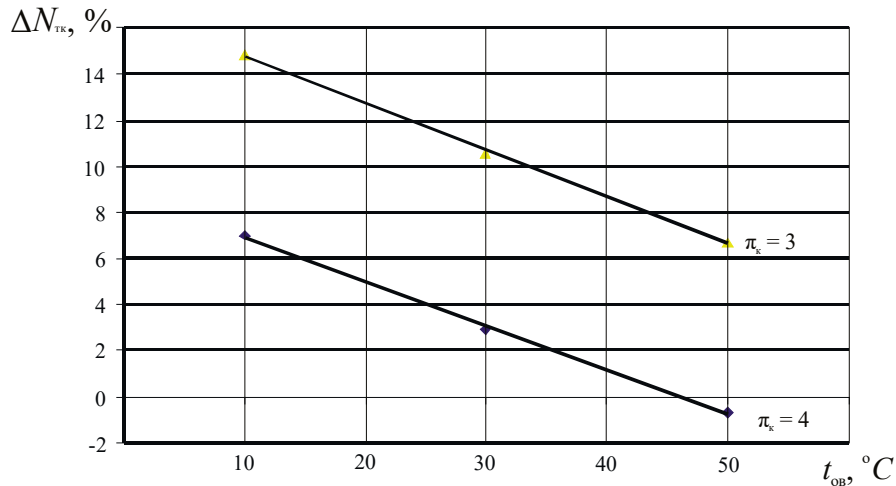


Рисунок 1. Избыток мощности ΔN_{TK} турбины сверх необходимой для наддува мощности компрессора в зависимости от температуры окружающего воздуха $t_{об}$ на входе ТК с учетом зависимости $\eta_k = f(\pi_k)$

Как видно, резерв мощности ТК достаточно значительный: $\Delta N_{TK} = 8...15\%$ при $\pi_k = 3$ в интервале температур $t_{нв} = 10...45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Об избытке мощности ТК свидетельствуют и результаты расчетов мощности турбины N_T и компрессора N_K , выполненных для ряда малооборотных дизелей "Вяртсила Нью Зульцер" и приведенных на рис. 2. в зависимости от мощности дизеля N_e с учетом зависимости температуры уходящих газов на входе турбины ТК от температуры наружного воздуха.

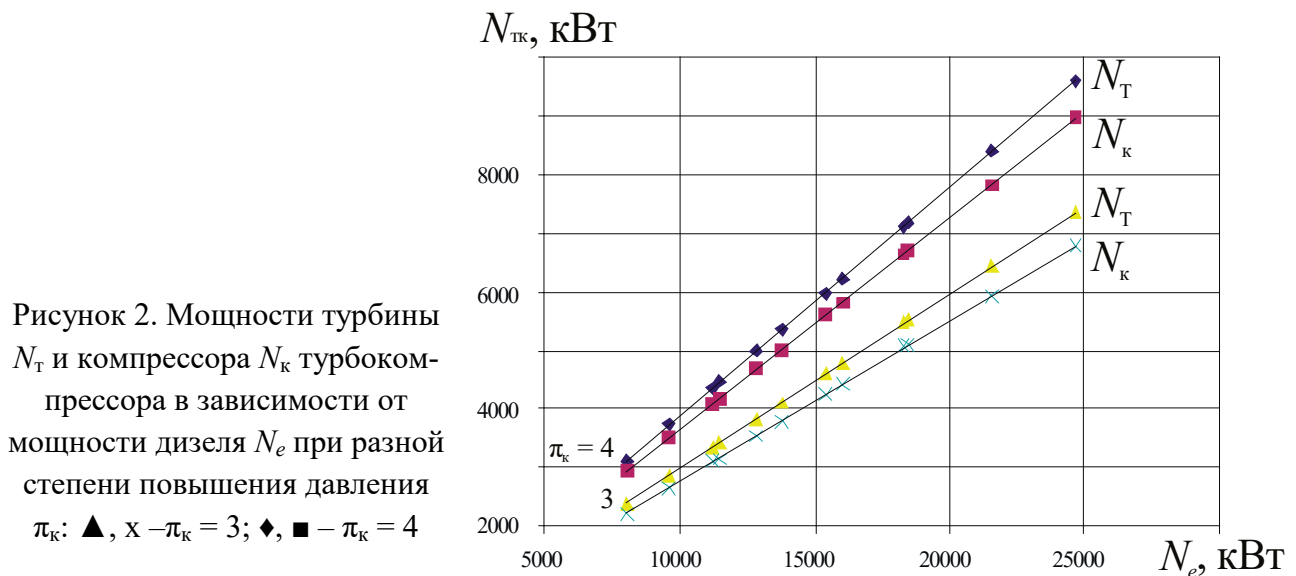


Рисунок 2. Мощности турбины N_T и компрессора N_K турбокомпрессора в зависимости от мощности дизеля N_e при разной степени повышения давления π_k : $\blacktriangle$, $\times$ — $\pi_k = 3$; $\blacklozenge$, $\blacksquare$ — $\pi_k = 4$

Как видно, для всего ряда мощностей N_e МОД "Вяртсила Нью Зульцер" имеет место резерв мощности ТК. При повышении мощности двигателя разница мощностей турбины и компрессора, выраженная в абсолютных величинах, увеличивается, тогда как в относительных величинах она остается практически постоянной.

Следует заметить, что расчет ТК проводился, исходя из пессимистического варианта, когда ряд коэффициентов принимался для худших, с точки зрения образования резерва мощности, условий. Если же исходить из оптимистического расчета, то превышение мощности турбины над мощностью компрессора может достигать 30 %.

Очевидно, что избыток тепловой энергии уходящих газов может быть реализован теплоиспользующей, в частности, эжекторной ТУОНВ как конструктивно наиболее простой. Для этого необходимо часть уходящих газов направить мимо турбины ТК на ТУОНВ. Количество байпасируемого газа пропорционально превышению мощности турбины над мощностью компрессора и составляет 10...20 %. Оно зависит от температуры наддувочного воздуха t_k на нагнетании компрессора, которая, в свою очередь, – от температуры окружающего воздуха $t_{ов}$ на его всасывании, так как ее повышение приводит к увеличению температуры уходящих газов $t_{гт}$ и, соответственно, теплосодержания газов, срабатываемого в утилизационной турбине

Выводы:

1. Применение эжекторной ТУОНВ, использующей теплоту наддувочного воздуха после ТК, для его охлаждения после водяного ОНВ обеспечивает снижение температуры наддувочного воздуха на 15...30 °С (по сравнению с только водяным охлаждением) и соответственно повышение КПД МОД на 1...2 %.
2. Определены рациональные параметры эжекторной ТУОНВ в системе охлаждения наддувочного воздуха ДВС.

Література:

1. Радченко Н.И., Сирота А.А., Андреев А.А., Чураков А.И. Повышение эффективности судовых высокооборотных ДВС при высоких температурах окружающего воздуха с помощью эжекторных тепло-использующих контуров // 3б. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 4 (409). – С. 132–138.
2. Андреев А.А. Влияние температуры наддувочного воздуха на рабочий цикл ДВС // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених та спеціалістів. – Миколаїв: НУК, 2005. – С.89.
3. Андреев А.А. Аналитический обзор способов охлаждения наддувочного воздуха судовых ДВС // Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення: Матеріали науково-технічної конференції науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників. – Первомайськ: ППІ НУК, 2005. – С.36-37.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF HEAT-USED CHARGE-AIR COOLING SYSTEMS OF DIESEL UNITS

Vataman Ruslan Aleksandrovich

undergraduate,

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

artem_andreev@ukr.net

Abstract. The regularities of the influence of the operating conditions of the ship charge air cooling systems on the efficiency indicators of heat recovery charge air cooling units are revealed and recommendations for their rational design are developed.

Key words: internal combustion engine, supercharged air, refrigeration unit

УДК 621.4

INCREASING EFFICIENCY OF GAS ENGINES IN INTEGRATED ENERGY SYSTEM BY SCAVENGE AIR COOLING IN ABSORPTION CHILLER

Serhiy Forduy¹, Andrii Radchenko², Anatolii Zubarev², Lukash Bohdal³,
Viktor Khaldobin², Andrii Konovalov²

¹*PepsiCo, Inc., Kyiv, Ukraine*

²*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroes of Ukraine Avenue, 9, Mykolayiv, Ukraine, 54025*

³*Koszalin University of Technology, 2 Śniadeckich Street, Koszalin 75-453, Poland
e-mail: nirad50@gmail.com*

Abstract: An advanced scavenge air cooling system for reciprocating gas engines of integrated energy system for combined electricity, heat and refrigeration generation has been developed. New method of deep scavenge air cooling and stabilizing its temperature at increased ambient air temperatures and three-circuit scavenge air cooling system with absorption lithium-bromide chiller and wet-type cooling tower was proposed. Such cooling method does not require essential constructive changes in the existing scavenge air cooling system.

Gas engines (GE) found a widespread application in integrated energy systems (IES) for combined electricity, heat and refrigeration generation. The specific fuel consumption of GE increases with arising turbocharger (TC) suction air and scavenge gas-air mixture temperatures at the inlet of engine cylinders. The cooling problem arises especially actually for scavenge air, which heat is rejected traditionally to surroundings by radiator. The efficiency of such heat rejecting system drops sharp with increasing ambient air temperature above 25...30 °C. If scavenge air temperature exceeds the maximum temperature restriction of 50 °C the engine efficiency drops sharp. For protection of engine from negative impact of high scavenge air temperature the scavenge air temperature

The results of treatment of data for variation of electrical power output in absolute values N_e and relative values N_e/N_{eISO} compared to ISO value with changing ambient air temperature t_{amb} at the inlet of radiator for scavenge air cooling and also power output drops $\Delta N_e/\Delta t/N_{eISO}$ for 1 °C increment of ambient air temperature $\Delta t_{amb} = 1$ °C at the inlet of radiator for scavenge air cooling at various air temperatures at the inlet of turbocharger $t_{in} = 20...30$ °C for Jenbacher gas engine JMS 420 GS-N.LC at about rated electrical power output $N_e = 1250...1400$ kW ($N_{eISO} = 1400$ kW) and at part loads $N_e = 850...1000$ kW are presented below in Fig.2.

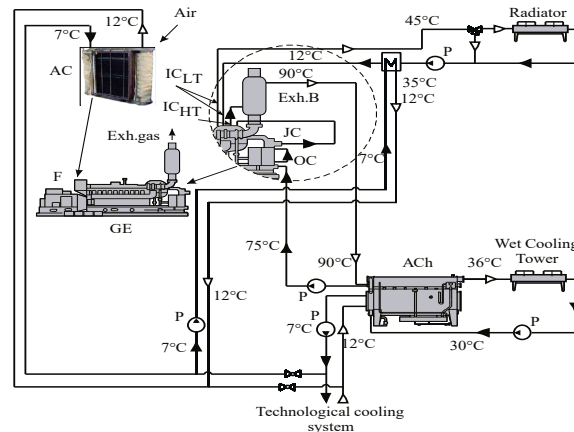


Figure 10 consists of two graphs, (a) and (b), showing the dependence of the ratio of the number of electrons to the number of ISO electrons ($N_e/N_{e,ISO}$) on the ambient temperature (t_{amb}) for different internal temperatures (t_m).

Graph (a) is for $N_e = 1250-1400$ kW. The y-axis represents $N_e/N_{e,ISO}$ (%) from 88 to 102, and the x-axis represents t_{amb} (°C) from 20 to 45. Four curves are shown for $t_m = 20^\circ\text{C}$ (red triangles), 24°C (black squares), 28°C (purple crosses), and 30°C (blue circles). All curves start at 100% for $t_{amb} = 20^\circ\text{C}$ and decrease as t_{amb} increases. The curve for $t_m = 30^\circ\text{C}$ decreases most rapidly, reaching approximately 90% at $t_{amb} = 45^\circ\text{C}$.

Graph (b) is for $N_e = 850-1000$ kW. The y-axis represents $N_e/N_{e,ISO}$ (%) from 88 to 102, and the x-axis represents t_{amb} (°C) from 20 to 45. Four curves are shown for $t_m = 20^\circ\text{C}$ (red triangles), 24°C (black squares), 28°C (purple crosses), and 30°C (blue circles). All curves start at 100% for $t_{amb} = 20^\circ\text{C}$ and decrease as t_{amb} increases. The curve for $t_m = 30^\circ\text{C}$ decreases most rapidly, reaching approximately 88% at $t_{amb} = 45^\circ\text{C}$.

140

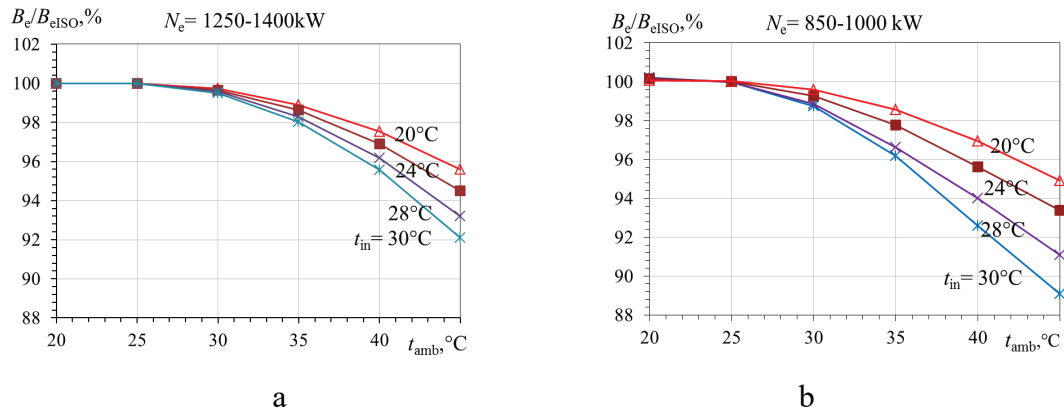


Fig. 3. Decrease of volume gas fuel consumption in relative values B_e/B_{elSO} versus increasing ambient air temperature t_{amb} at the inlet of radiator for scavenge air cooling at air temperatures at the inlet of turbocharger $t_{in} = 20...30$ °C for Jenbacher gas engine JMS 420 GS-N.LC at about rated power output $N_e = 1250...1400$ kW (a) and at part loads about $N_e = 850...1000$ kW (b)

A three-circuit scavenge air cooling system with ABCh (Fig.1) allows to maintain practically unchangeable scavenge air cooling water temperature of about $t_{cw} = 10...12$ °C with the temperature of cooled water from ABCh of 7 °C and ambient air temperatures $t_{amb} = 30...35$ °C. So such system can provide scavenge air cooling water temperature decrease of about 20...25 °C compared with conventional scavenge air cooling system with radiator, that results in an increase of engine electrical power output by 2...3 % and reduction of engine specific fuel consumption by about 4...5% at increased ambient air temperatures $t_{amb} = 30...35$ °C. At part loads 850...1000 kW a reduction of specific fuel consumption is nearly twice higher (Fig. 3,b).

УДК 621.4

IMPROVING THE EFFICIENCY OF GAS ENGINE HEAT UTILIZATION BY EJECTOR-ABSORPTION CHILLERS

Serhiy Forduy¹, Anatolii Zubarev², Dariusz Mikielawicz³,
Oleksiy Ostapenko², Artem Hrych², Viktor Khaldobin²

¹PepsiCo, Inc., Kyiv, Ukraine

²Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Heroes of Ukraine Avenue, 9, Mykolayiv, Ukraine, 54025

³Gdańsk University of Technology, 11/12 Gabriela Narutowicza Street, 80-233 Gdansk, Poland
e-mail: nirad50@gmail.com

Abstract: The heat losses caused by contradictory conditions of efficient performance of absorption Li-Br chiller and cogeneration gas engine module on the temperature of return heat fluid (heating water) at the exit of absorption Li-Br chiller and its temperature at the inlet of cogeneration gas engine cooling system was revealed. The possibility of applying a refrigerant ejector chiller to transform a low potential heat of return

heating water after the absorption Li-Br chiller is considered. A two-stage transformation of heat by refrigerant ejector and absorption chillers was proposed.

In installations of combined electricity, heat and cooling supply the exhaust heat of gas engines is usually transformed into the cold by absorption Li-Br chiller (Fig.1.a). A thermal state of gas engine is ensured by maintaining the temperature of return hot water at its inlet not higher than 70 °C. At the same time, the temperature of hot water is reduced in absorption Li-Br chiller by no more than 10...15 °C, that is, down to 75...80 °C if its temperature at the exit of gas engine (at the inlet of absorption Li-Br chiller) is 90 °C. Because of contradictory requirements for effective operation of the gas engine and the absorption Li-Br chiller on the temperature of return hot water the last is cooled in the emergency cooling tower of dry type after Li-Br chiller to keep its temperature at the inlet of gas engine at a safe level of 70 °C. But this leads to heat losses of about 30% and drop in the overall efficiency (electrical and thermal) of cogeneration gas engine module as a result.

In order to exclude these heat losses, it was proposed to use a refrigerant ejector chiller. Refrigerant ejector chillers are simple in design, but their efficiency depends very much on the temperature of heating water at the inlet. A slight decrease in the hot water temperature leads to a significant drop in the coefficient of performance of refrigerant ejector chiller. Therefore, the refrigerant ejector chiller is suggested to be used before the absorption Li-Br chiller in order to consume a high-potential heat of the hot water in the ejector chiller generator. The scheme of the system for transforming the waste heat of gas engine in refrigerant ejector and absorption Li-Br chillers is shown in Fig. 1.b.

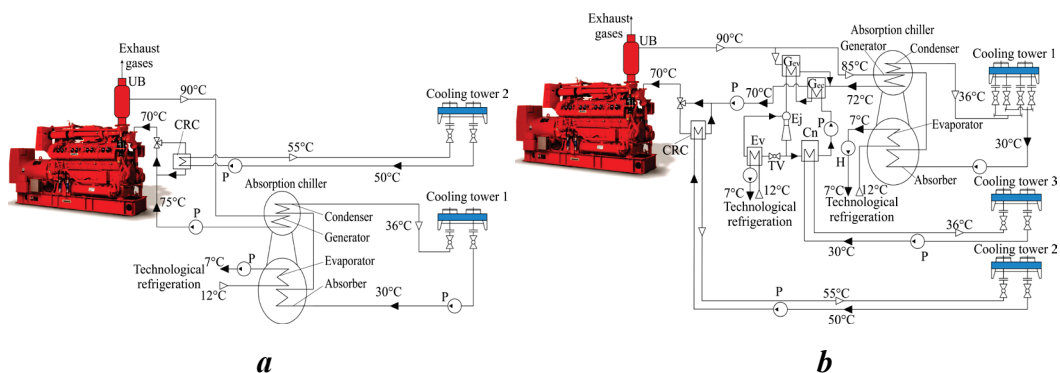


Fig. 1. Schemes of a typical waste heat transformation system with absorption Li-Br chiller (a) and two-stage waste heat transformation system with refrigerant ejector chiller and absorption Li-Br chiller (b): UB – utilization boiler; CRC – cooler of the return hot water; TV – throttle valve; Ev, Cn, Ej – evaporator, condenser and ejector of ejector chiller; G_{ev} , G_{ec} – evaporative and economizer sections of ejector chiller generator; P – pump;

According to this scheme, the heat of hot water with temperature $t_g = 90$ °C is used in the evaporative section of the refrigerant ejector chiller generator. Then, with a temperature lowered to 142

85 °C, the hot water is fed to the absorption Li-Br chiller and leaves the absorption Li-Br chiller at a temperature of about 72 °C at the outlet. In order to maintain the temperature of the return hot water at the inlet of the gas engine not higher than 70 °C, the remaining part of the excessive hot water heat is used in the economizer part of the ejector chiller generator for addition heating of liquid refrigerant at the inlet of the evaporative section of generator.

The cooling capacities of the typical heat transformation system with absorption Li-Br chiller $Q_{0(b)}$ and proposed two-stage heat transformation system with refrigerant ejector and absorption chillers $Q_{0(ad)}$, refrigerant ejector chiller $Q_{0(ej.ch)}$ ($t_g = 90$ °C) and absorption chiller $Q_{0(ab.ch)}$ ($t_g = 85$ °C) and increment in cooling capacity of ejector-absorption system compared with a typical absorption lithium bromide system in dependence of the value of coefficient of performance for refrigerant ejector chiller are presented in Fig. 2.

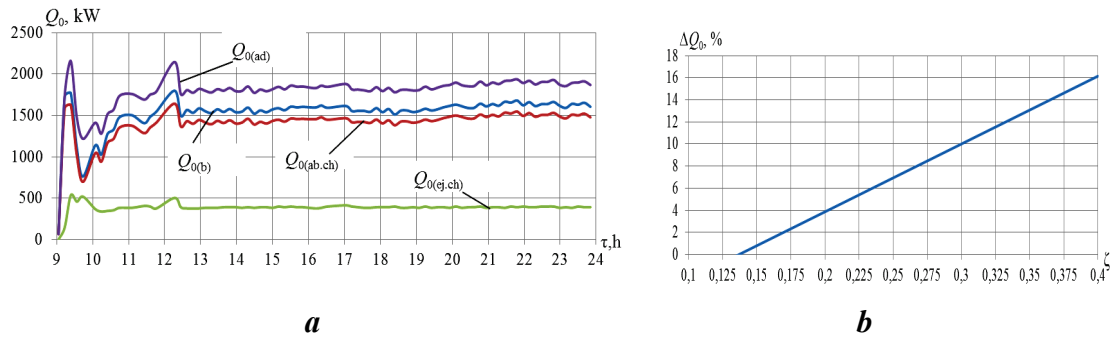


Fig. 2. The cooling capacities of the typical heat transformation system with absorption Li-Br chiller $Q_{0(b)}$ and proposed two-stage heat transformation system with refrigerant ejector and absorption chillers $Q_{0(ad)}$, refrigerant ejector chiller $Q_{0(ej.ch)}$ and absorption chiller $Q_{0(ab.ch)}$ (a) and increment in cooling capacity of the proposed ejector-absorption system compared with typical absorption lithium bromide system in dependence of refrigerant ejector chiller coefficient of performance (b)

Proceeding from the data given in Fig. 2.b, the use of refrigerant ejector chiller for transformation of the waste heat of gas engine into cooling capacity is expedient if its coefficient of performance is higher than 0.15. So, the application of refrigerant ejector chiller with coefficient of performance of 0.4 provides a 18% increment in cooling capacity of the proposed ejector-absorption chiller system compared with typical absorption lithium bromide chiller system.

УДК 621.45.034

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГТД НА СТІЙКІСТЬ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ

Козловський А. В.

*кандидат технічних наук, доцент без вченого звання кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
artem.kozlovskiy@nuos.edu.ua*

Анотація. Проведено аналіз процесів горіння газоподібного палива в низькоемісійній камері згоряння газотурбінного двигуна за допомогою сучасних інструментів обчислювальної гідродинаміки. Проведено теоретичні дослідження впливу геометричних параметрів проточних частин на пульсаційні характеристики низькоемісійної камери згоряння ГТД.

Ключові слова: газотурбінний двигун, камера згоряння, стабілізація горіння, математичне моделювання.

Виникнення режимів пульсаційного горіння в низькоемісійних камерах згоряння можуть призводити до часткового або навіть повного руйнування елементів конструкції двигуна. Тому забезпечення стійкості процесу горіння вуглеводневих палив у низькоемісійних камер згоряння являє собою актуальне науково-прикладне завдання.

Використання числового експерименту на основі сучасних засобів обчислювальної гідродинаміки для прогнозування режимів пульсаційного горіння на етапі розробки двигуна дозволить значно скоротити витрати на проектування та доведення двигуна.

Розроблено математичну модель нестационарних хімічнореагуючих потоків в низькоемісійних камерах згоряння ГТД, яка відрізняється від відомих наявністю підмоделі, що дозволяє прогнозувати пульсаційні характеристики паливоспалюючих пристроїв [1-2].

Теоретичним шляхом доведено, що в низькоемісійній камері згоряння із попереднім перемішуванням палива та повітря в каналах повітряних завихрювачів, максимальні за амплітудою пульсації тиску робочого тіла в жаровій трубі мають місце в районі центральної зони рециркуляції, в отворах підведення вторинного повітря, а також в області виходу потоків із центрального і периферійного завихрювачів (рис.1,а).

Підвищення стійкості процесів горіння газоподібного палива в низькоемісійній камері згоряння із попереднім утворенням паливо-повітряної суміші може бути досягнуто за рахунок підвищення швидкості витікання повітря з периферійного завихрювача перекриттям отворів вторинного повітря. Рівень середньоквадратичних пульсацій в удосконаленій камері згоряння в порівнянні з базовим варіантом знижується на 35% (рис.1,б).

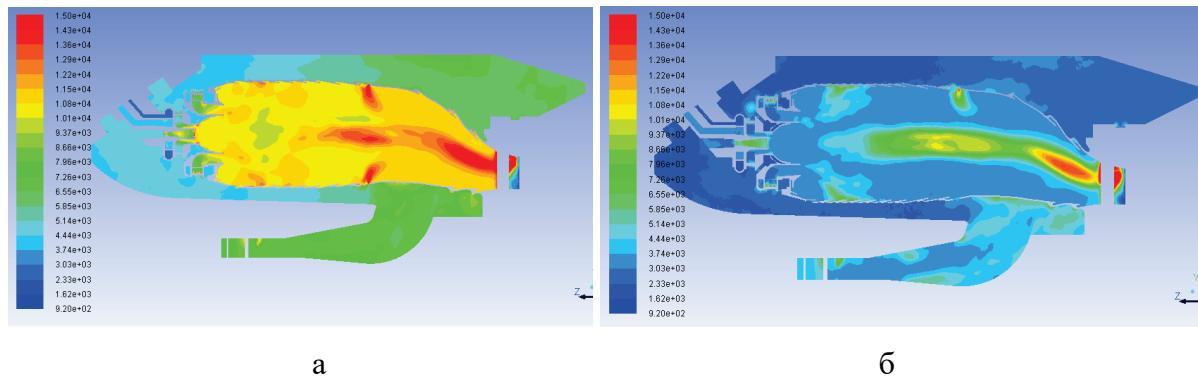


Рис.1. Рівень середньоквадратичних пульсацій статичного тиску в жаровій трубі з 4 отворами вторинного повітря (а); з 1 отвором вторинного повітря (б)

Висновки:

- 1) Отримала подальшого розвитку математична модель нестационарних хімічно реагуючих потоків в низькоемісійних камерах згоряння ГТД, яка дозволяє прогнозувати пульсаційні характеристики паливоспалюючих пристроїв.
- 2) Теоретичним шляхом встановлено, що за рахунок удосконалення геометричних параметрів низькоемісійної камери згоряння можливо зменшити пульсації тиску в камері згоряння на 35%.

Література:

1. Serbin, S., Kozlovskyi, A., & Burunsuz, K. (2021). Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, pp. 000010151520200046. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0046>
2. Serbin, S. I., Kozlovskyi, A. V., & Burunsuz, K. S. (2016). Investigations of nonstationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 2960-2964.

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE GAS TURBINE COMBUSTOR FLOWING PART ON COMBUSTION PROCESS STABILITY.

Kozlovskyi Artem Viktorovich

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract: The analysis of gaseous fuel combustion processes in low emissive gas turbine combustor is carried out with the help of modern tools of computational hydrodynamics. Theoretical researches of influence geometrical parameters of flowing parts on pulsation characteristics in low emissive gas turbine combustor are carried out.

Keywords: gas turbine engine, combustion chamber, combustion stabilization, mathematical modeling.

УДК 621.438

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТУРБИНИ ВИСОКОГО ТИСКУ ГТА З ТУК НОМІНАЛЬНОЮ СПОЖИВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ 25 МВт

Козловський А. В.¹, Баклан О.В.²

¹кандидат технічних наук, доцент без вченого звання кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна,
artem.kozlovskiy@nuos.edu.ua

²магістрант кафедри турбін Національного університету кораблебудування імені адмірала
Макарова, м. Миколаїв, Україна,
baklansanya99@gmail.com

Анотація. Проведено габаритні розрахунки газотурбінного агрегату з теплоутилізаційним контуром потужністю 25 МВт для електростанції. Визначено габаритні та термодинамічні характеристики основних елементів ГТА. Проведено конструктивні розрахунки турбіни високого тиску.

Ключові слова: газотурбінний двигун, турбіна високого тиску, теплоутилізаційний контур, тривимірне моделювання.

Під час дослідження виконано оптимізацію ефективних показників, термо- та газодинамічні розрахунки ГТД. Отримано габаритні характеристики основних елементів ГТД, габарити утилізаційного парогенератора та парогазового конденсатора. Отримано габаритні і термодинамічні показники парової турбіни і конденсатора. Конструктивні розрахунки в роботі містять розрахунки турбіни високого тиску на: міцність робочої лопатки, міцність диску турбіни високого тиску, довговічність підшипника. Також виконана закрутка робочої лопатки турбіни високого тиску [1].

Робочі лопатки турбомашин випробують дії відцентрових сил, газодинамічних навантажень, а також вплив високих температур та вібрації. При проектуванні профільної частини (пера) лопатки турбіни високого тиску визначено запас міцності лопатки у кореневому перерізі, який дорівнює 1,68, при допустимому значенні запасу міцності профільної частини робочих лопаток 1,5–2,5. Таким чином, робоча лопатка турбіни високого тиску має запас міцності достатній для забезпечення заданого ресурсу роботи 20000 г.

Проведені розрахунки течії газопарової суміші в міжлопаткових каналах турбіни високого тиску ГТА з ТУК потужністю 25 МВт з використанням методів обчислювальної гідрогазодинаміки [2–3].

Спостерігаються відриви потоку від поверхні робочих лопаток та зони надзвукових течій на виході з соплових лопаток (рис.1). Ці явища здатні спричинити зниження ККД через неоптимальне обтікання профілів. За цими даними доведено необхідність додаткових робіт щодо профілювання лопаток за результатами тривимірного числового моделювання.

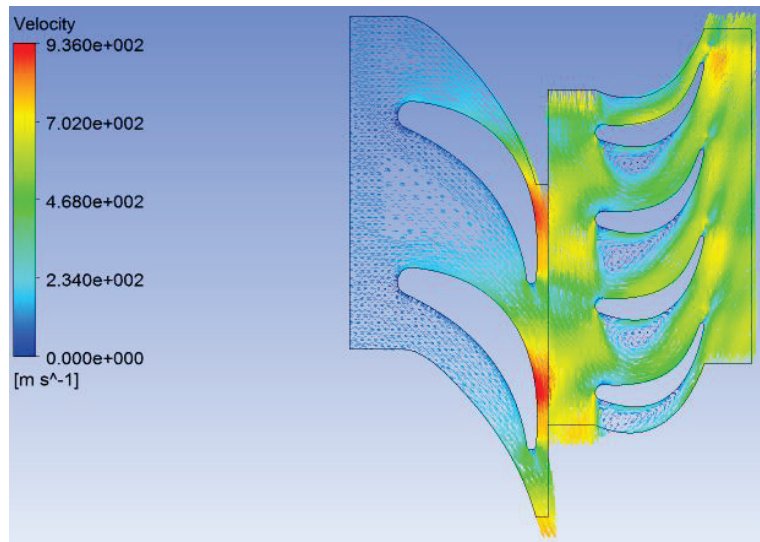


Рис. 1. Вектори швидкості течії газопарової суміші в міжлопаткових каналах турбіни високого тиску

Висновки:

1) Виконано основні габаритні розрахунки ГТА з теплоутилізаційним контуром потужністю 25 МВт для електростанції. Визначено габаритні та термодинамічні характеристики основних елементів ГТА.

2) При проектуванні профільної частини (пера) лопатки турбіни високого тиску визначено, що робоча лопатка турбіни високого тиску має запас міцності достатній для забезпечення заданого ресурсу роботи 20000 г.

3) За результатами теоретичних розрахунків течії газопарової суміші в міжлопаткових каналах ступеня турбіни високого тиску спостерігаються відриви потоку від поверхні робочих лопаток та зони надзвукових течій на виході з соплових лопаток. Отримані результати моделювання потребують подальшої верифікації на стендовому експерименті.

Література:

1. Романовський, Г. Ф., Ващиленко, М. В., & Сербін, С. І. (2003). Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 304.
2. Serbin, S., Kozlovskyi, A., & Burunsuz, K. (2021). Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, pp. 000010151520200046. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0046>
3. Serbin, S. I., Kozlovskyi, A. V., & Burunsuz, K. S. (2016). Investigations of nonstationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 2960-2964.

INVESTIGATIONS HIGH PRESSURE TURBINE PARAMETERS OF 25 MW GAS TURBINE UNIT WITH HEAT RECOVERY CIRCUIT

Kozlovskiy Artem Viktorovich, Baklan Alexander Vitalievich

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract: Dimensional calculations of a gas turbine unit with a heat recovery circuit with a capacity of 25 MW for the power plant were performed. Dimensional and thermodynamic characteristics of the main elements of the gas turbine engine, utilization boiler, steam turbine and steam-gas condenser are determined. Structural calculations of the high pressure turbine are carried out.

Keywords: gas turbine engine, high pressure turbine, heat recovery circuit, three-dimensional modeling.

УДК 621.438

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОВОГО ГЕНЕРАТОРА, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСІВ В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ГТД

Козловський А. В.¹, Вілкул С.В.²

¹кандидат технічних наук, доцент без вченого звання кафедри турбін
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна,

artem.kozlovskiy@nuos.edu.ua

²завідувач лабораторії кафедри турбін Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна,
sergeyvilkul@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання підвищення стабілізації процесів в камерах згоряння газотурбінних двигунів використанням плазмового генератора постійного струму. Представлені результати експериментальних досліджень плазмотрона постійного струму, призначеного для підвищення стабільності горіння паливо-повітряної суміші. Визначено діапазон стійкої роботи плазмотрона постійного струму.

Ключові слова: газотурбінний двигун, камера згоряння, стабілізація горіння, плазмовий генератор.

Метою даного дослідження є визначення діапазону стійкої роботи плазмового генератора, призначеного для підвищення стабільності горіння паливо-повітряної суміші в низько-емісійних камерах згоряння газотурбінних двигунів.

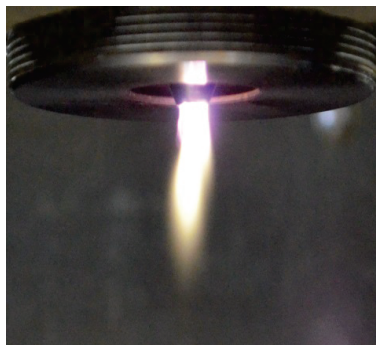
Основні завдання експериментальних досліджень плазмового генератора:

- визначення витратних характеристик плазмового генератора при роботі на плазмуютворюючому повітрі;
- визначення напруги на дузі в процесі запуску, на режимах роботи і виключення плазмового генератора;

- оцінка можливостей використання низькотемпературної плазми для займання і стабілізації горіння палива в камері згорання ГТД.

Плазмовий генератор представляє собою пристрій генерування низькотемпературної плазми, який в якості плазмоутворюючого середовища використовує або повітря, або суміш повітря з природним газом [1].

В результаті експериментальних досліджень отримана вольт-амперна характеристика плазмового генератора, яка має крутопадаючий характер. Для здійснення процесу первісного пробію зазору і запуску плазмотрона, напруга досягає значення 2,5 кВ. При збільшенні потужності плазмової дуги осьова довжина факела низькотемпературної плазми незначно збільшується (рис.1).



300 Вт



600Вт

Рис.1. Збільшення довжини факела іонізованого повітря при зростанні потужності плазмотрона від 300 до 600 Вт

Визначено зону стійкого горіння дуги плазмового генератора постійного струму, яка відповідає значенням сили струму джерела живлення від 0,3 до 0,9 А та витраті плазмоутворюючого повітря до 3,4 г / с.

Використання плазмового генератора як стабілізатора процесів в камері згорання ГТД дозволить розширити діапазон значень коефіцієнта надлишку повітря, збільшити повноту згорання палива, а також виключити бідний зрив факелу. Розширення діапазону стійкої роботи камери, призведе до зменшення пульсацій паливо-повітряної суміші і, отже, вібрації елементів камери згорання і двигуна в цілому [3-4].

Висновки:

1. Розроблено і створено експериментальну установку для дослідження енергетичних характеристик слабкострумових плазмових генераторів, призначених для стабілізації горіння паливо-повітряних сумішей в низькоемісійних камерах згорання.

2. Проведено експериментальні дослідження енергетичних характеристик плазмового генератора, призначеного для підвищення стійкості процесів горіння в низькоемісійній камері згорання ГТД, що працює на газоподібному паливі.

3. Визначено зону стійкого горіння дуги плазмового генератора постійного струму, яка відповідає значенням сили струму джерела живлення від 0,3 до 0,9 А та витраті плазмоутворюючого повітря до 3,4 г / с.

4. Експериментальні дослідження довели ефективність плазмохімічних стабілізаторів з низьким енергоспоживанням (150 ... 300 Вт).

Література:

1. Сербин, С. И., Козловский, А. В., & Вилкул, С. В. (2015). Исследование энергетических характеристик плазменного генератора для стабилизации термо-акустических процессов в камерах сгорания. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (17), 44-48.

2. Козловский, А. В., & Кирчук, Е. Ю. (2015). Экспериментальные исследования характеристик плазменного стабилизатора для низкоэмиссионной камеры сгорания газотурбинных двигателей. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування, (3), 80-84.

3. Serbin, S., Kozlovskiy, A., & Burunsuz, K. (2021). Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber. International Journal of Turbo & Jet-Engines, pp. 000010151520200046. <https://doi.org/10.1515/tjj-2020-0046>

4. Serbin, S. I., Kozlovskiy, A. V., & Burunsuz, K. S. (2016). Investigations of nonstationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. IEEE Transactions on Plasma Science, 44(12), 2960-2964.

INVESTIGATION OF THE PLASMA GENERATOR CHARACTERISTICS, DESIGNED TO INCREASE STABILITY PROCESSES IN GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBER

Kozlovskiy Artem Viktorovich, Vilkul Serhiy Volodymyrovych
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract: Increasing of the stabilization processes in gas turbine combustion chambers, using a direct current plasma generator is considered. The results of experimental studies of a direct current plasmatron, designed to increase the combustion stability of the fuel-air mixture are presented. The range of stable operation of the direct current plasmatron is determined.

Keywords: gas turbine engine, combustion chamber, combustion stabilization, plasma generator.

УДК 621.431

АНАЛИЗ СХЕМ ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗБЫТОЧНОЙ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ВЫХОДЕ

Лашко Павел Викторович

магистрант,

Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Мака-

рова, г. Херсон, Украина

artem_andreev@ukr.net

Проанализированы системы с утилизацией теплоты уходящих газов после утилизационных котлов. Определены варианты схемных решений теплоиспользующих установок охлаждения наддувочного воздуха (ТУОНВ) и разработаны рекомендации по рациональному их проектированию.

Ключевые слова: ДВС, наддувочный воздух, холодильная установка

В качестве наиболее характерных теплоиспользующих установок охлаждения наддувочного воздуха (ТУОНВ) судовых ДУ проанализированы системы с утилизацией теплоты уходящих газов после утилизационных котлов и турбин ТК и применением низкокипящих рабочих тел (НРТ) как рабочего тела ТУОНВ. Конструктивно наиболее простыми и надежными в эксплуатации являются ТУОНВ эжекторного типа, в которых функцию компрессора выполняет струйный аппарат – эжектор.

Очевидно, что избыток тепловой энергии уходящих газов может быть реализован теплоиспользующей, в частности, эжекторной ТУОНВ как конструктивно наиболее простой. Для этого необходимо часть уходящих газов направить мимо турбины ТК на ТУОНВ. Количество байпасируемого газа пропорционально превышению мощности турбины над мощностью компрессора и составляет 10...20 %. Оно зависит от температуры наддувочного воздуха t_k на нагнетании компрессора, которая, в свою очередь, – от температуры окружающего воздуха $t_{ов}$ на его всасывании, так как ее повышение приводит к увеличению температуры уходящих газов t_{yt} и, соответственно, теплосодержания газов, срабатываемого в утилизационной турбине (рис. 1.).

Из рис. 1. видно, что зависимость температуры уходящих газов t_{yt} от температуры наддувочного воздуха на нагнетании наддувочного компрессора t_k имеет линейный характер и может быть описана уравнением $t_{yt} = 0,95t_k + 26$, °С, согласно которому при увеличении температуры воздуха на выходе из компрессора на 10 °С температура уходящих газов повышается на 9,5 °С.

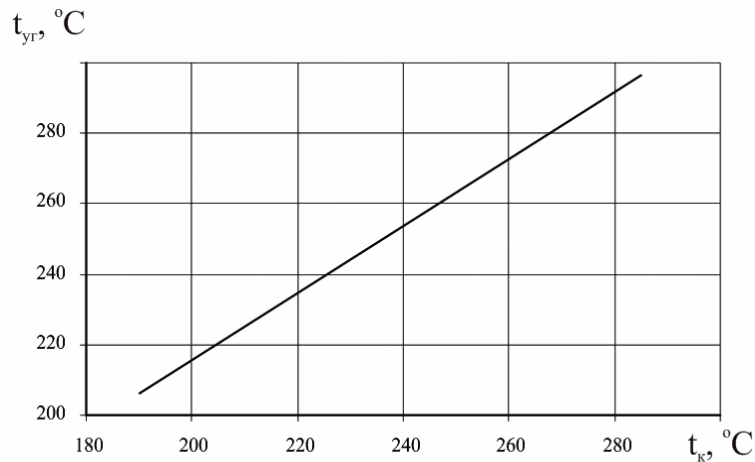


Рисунок 1. . Зависимость температуры уходящих газов $t_{уг}$ от температуры воздуха на нагнетании наддувочного компрессора t_k

Схемы систем на базе эжекторной ТУОНВ, утилизирующей теплоту избыточного количества уходящих газов для охлаждения наддувочного воздуха, представлены на рис. 2. При этом генератор ТУОНВ устанавливают на байпасной линии уходящих газов в обход ТК, расход газов через которую прямо пропорциональный превышению мощности турбины ТК над мощностью наддувочного компрессора и может составлять 20...30 % общего количества газов после цилиндров двигателя.

Так как температура газов на входе в генератор ТУОНВ (после цилиндров ДВС) составляет около $400\text{ }^\circ\text{C}$, то срабатываемый в ТУОНВ тепловой потенциал может оказаться весьма значительным, даже с учетом того, что через байпасную линию на генератор ТУОНВ поступает около 20...30 % от общего количества газов.

Первые две схемы (рис. 2, а и б) представляют по сути аналог ТКС, в которой генератор ТУОНВ (испарительная секция генератора на рис. 2, б) установлен на байпасной линии вместо дополнительной газовой турбины (силовой турбины или турбогенератора) или же подключен параллельно турбине (на рис. не показано). При этом теплоперепад, срабатываемый в генераторе ТУОНВ, небольшой, поскольку ограничен разностью температур газов на входе и выходе $t_{г1} - t_{г2} = 350 - 250 = 100\text{ }^\circ\text{C}$, к тому же отнесенной к весьма малому расходу газов через байпас: около 20 %. Очевидно, что больший эффект можно получить при срабатывании всего теплового потенциала избыточного, сверх необходимого для привода наддувочного ТК, количества уходящих газов: $t_{г1} - t_{г2} = 350 - 150 = 200\text{ }^\circ\text{C}$ (схема на рис. 2, в), где нижняя температура газов ограничена необходимостью недопущения сернистой коррозии материала экономайзерных поверхностей генератора ТУОНВ.

Поскольку, с одной стороны, от холодопроизводительности эжекторной ТУОНВ зависит глубина охлаждения наддувочного воздуха, а с другой, охлаждение наддувочного возду-

ха на входе в цилиндры двигателя приводит к снижению температуры t_{r1} уходящих газов на их выходе (на входе в ГТ ТК и байпасную линию избытка уходящих газов – сверх необходимого его количества для привода наддувочного ТК) и соответственному сокращению теплоперепада, срабатываемого в генераторе ТУОНВ на байпасной линии, и в конечном счете, холодопроизводительности ТУОНВ, то при расчете снижения температуры Δt_s наддувочного воздуха в испарителе ТУОНВ необходимо учитывать взаимную зависимость температуры уходящих газов на выходе цилиндров двигателя – входе генератора ТУОНВ на байпасной линии газов t_{r1} от температуры наддувочного воздуха, охлаждаемого в испарителе ТУОНВ перед входом в цилиндры двигателя t_s . Для МОД фирмы "MAN-B&W" соотношение $\Delta t_{r1} = 0,95 \Delta t_s$. Это означает, что при повышении температуры t_s наддувочного воздуха на входе в цилиндры двигателя, например на 20°C , температура уходящих газов после цилиндров увеличится на 19°C , т.е. практически на ту же величину.

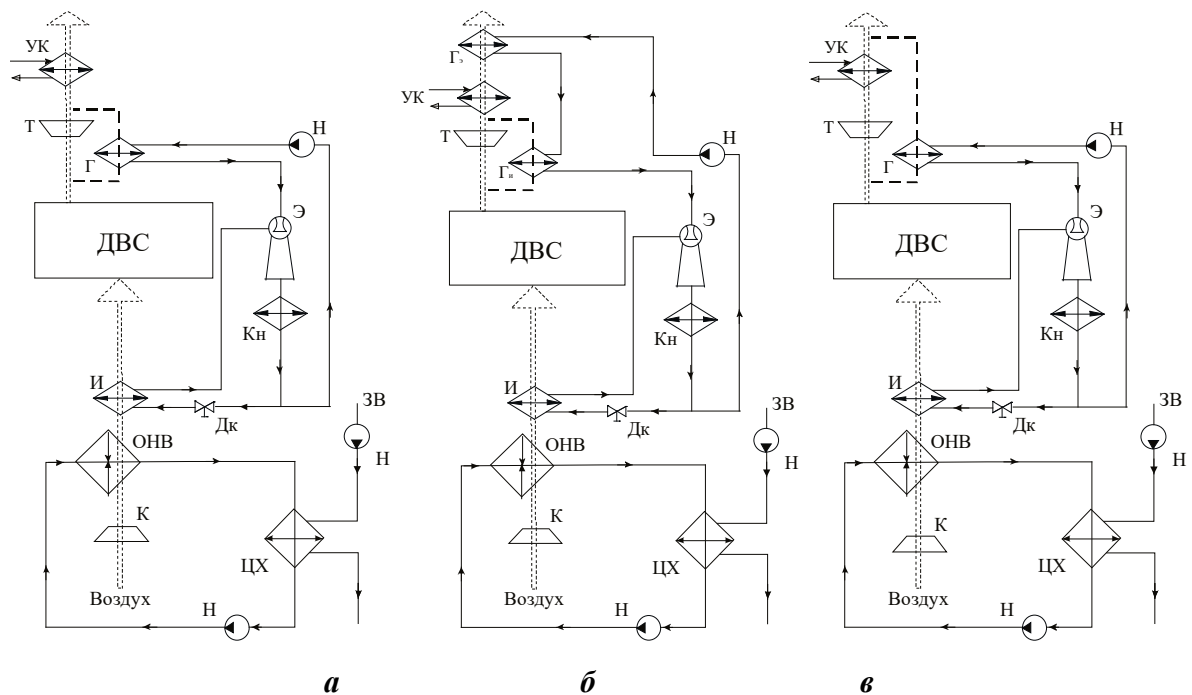


Рисунок 2. Схемы систем охлаждения наддувочного воздуха ДВС на базе эжекторной ТУОНВ, использующей избыточную теплоту уходящих газов при температуре газов на выходе из генератора ТУОНВ t_{r2} : **а** – $t_{r2} = 250^\circ\text{C}$ (генератор перед УК); **б** – $t_{r2} = 250^\circ\text{C}$ (испарительная секция генератора перед УК, экономайзерная секция после УК); **в** – $t_{r2} = 180^\circ\text{C}$ (генератор перед УК); Т – турбина ТК; К – наддувочный компрессор; УК – утилизационный котел; ОНВ – охладитель наддувочного воздуха водяной; ЦХ – центральный холодильник; ЗВ – забортная вода; ТУОНВ: Г – генератор; Э и Г_и – экономайзерная и испарительная секции генератора; Э – эжектор; Кн – конденсатор; Н – насос; ДК – дроссельный клапан; И – испаритель-воздухоохладитель

В случае же применения ТУОНВ с охлаждением в испарителе наддувочного воздуха на входе в цилиндры двигателя на величину Δt_s значение температуры газов на выходе из цилиндров – входе генератора ТУОНВ на байпасной линии $t_{г1}$ также становится ниже исходной величины, например $t_{г1} = 350^\circ\text{C}$, и находится методом последовательных приближений с учетом указанной выше пропорции $\Delta t_{г1} = 0,95 \Delta t_s$ и холодопроизводительности ТУОНВ

Выводы:

1. Применение эжекторной ТУОНВ, использующей теплоту наддувочного воздуха после ТК, для его охлаждения после водяного ОНВ обеспечивает снижение температуры наддувочного воздуха на $15...30^\circ\text{C}$ (по сравнению с только водяным охлаждением) и соответственно повышение КПД МОД на $1...2\%$.
2. Предложены схемные решения систем охлаждения наддувочного воздуха судовых ДВС на базе эжекторной ТУОНВ.

Література:

1. Радченко Н.И., Сирота А.А., Андреев А.А., Чураков А.И. Повышение эффективности судовых высокооборотных ДВС при высоких температурах окружающего воздуха с помощью эжекторных тепло-использующих контуров // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2006. – № 4 (409). – С. 132–138.
2. Андреев А.А. Влияние температуры наддувочного воздуха на рабочий цикл ДВС // Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених та спеціалістів. – Миколаїв: НУК, 2005. – С.89.
3. Андреев А.А. Аналитический обзор способов охлаждения наддувочного воздуха судовых ДВС // Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення: Матеріали науково-технічної конференції науково-педагогічних та інженерно-технічних працівників. – Первомайськ: ППІ НУК, 2005. – С.36-37.

ANALYSIS OF THE CIRCUITS OF THE HEAT-RECOVERY UNIT FOR CHARGE AIR COOLING USING THE EXCESS HEAT OF THE EXHAUST GASES AT THE OUTLET

Lashko Pavlo Viktorovich

undergraduate,

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

artem_andreev@ukr.net

Abstract. Systems with utilization of waste gas heat after utilization boilers are analyzed. Variants of circuit solutions of heat-using charge air cooling units (TUONV) were determined and recommendations for their rational design were developed.

Key words: internal combustion engine, supercharged air, refrigeration unit

УДК 621.438

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОДАЧЕЮ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Личко Б. М.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок
та теплоенергетики*

bogdan.lychko@gmail.com

Макаренко О. С.

викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Проскурін А. Ю.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та
технічна експлуатація»*

arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Резанов І. О., Пінчук П. О.

магістранти кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуто ряд технічних рішень щодо підвищення паливної економічності дизельних двигунів шляхом вдосконалення системи управління подачею палива. Запропоновано реалізувати мультиуприскування яке дозволить оптимізувати спалювання палива в циліндрі, а, отже, підвищує індикаторний ККД. Не потрібні складні пристрої перетворення і накопичення енергії в короткі проміжки часу, що спрощує пристрій паливоподачі та підвищує його надійність.

Ключові слова: паливна система, форсунка, уприскування, п'єзопривід.

Техніко-економічні показники дизельних двигунів в значній мірі визначаються роботою паливної системи. Забезпечення надійності паливної апаратури і стабільності параметрів подачі палива протягом тривалої експлуатації – найважливіші вимоги, що пред'являються до суднових дизелів [1].

З рівня техніки відомий спосіб управління подачею палива за допомогою електрогідравлічної форсунки з двопозиційним клапаном [2]. Недоліки цієї форсунки в тому, що закриття голки здійснюється за рахунок різниці майданчиків над і під голкою при подачі однакового і високого тиску під голку і в камеру над голкою. При реалізації часткових режимів надійність замикання голки знижується і можливий прорив газів з циліндрів.

Крім того, уприскування реалізується за допомогою електроприводу і п'єзоприводу, що вимагає додаткових джерел енергії і значних витрат енергії на реалізацію способу, складні схеми її перетворення. П'єзоприводи мають складну технологію і достатні дороги. Переміщення золотників вкрай малі, тому потрібні додаткові мультиплікатори переміщення для п'єзоприводу. Крім того, застосування п'єзоприводів створює надлишкову швидкодію фор-

сунки і не ставиться з питання про достатню швидкодію з точки зору оптимального за умовами екологічності і паливної ефективності спалювання палива.

Необхідний спосіб управління подачею палива з такими операціями, який дозволить при відсіченні не подавати паливо високого тиску під голку і тим самим поліпшить динаміку перемикання голки, виключить будь-яку можливість прориву газів під голку з циліндра при часткових режимах.

Пропонується вдосконалити систему управління подачею палива, яка покращує динаміку подачі палива, підвищує індикаторний ККД, реалізує мультиуприскування і регульовані по тривалості уприскування за допомогою простих механічних пристроїв. Пристрій для управління подачею палива включає форсунку з голкою без пружини, з двома клапанами з механічним перемиканням з одного положення в інше, розпилювач з одним рівнем отворів, паливний бак, паливopідкачуючий насос, паливний насос високого тиску, гідравлічний акумулятор високого тиску, з'єднані гідравлічно, забезпечено двома керуючими механічними клапанами зі штоками з замикаючими поверхнями, гідравлічним акумулятором низького тиску, мультиплікатором переміщення, швидкодіючим реверсивним механічним приводом [3].

Система реалізує, як мінімум, три уприскування: попереднє, основне, після основного.

Попереднє уприскування виконується з малою тривалістю, бо його призначення підготувати оптимальне згоряння основної порції палива без утворення окислів азоту.

Основне уприскування здійснюється з максимальною тривалістю, необхідною для подачі необхідної кількості палива в циліндр для реалізації необхідної потужності.

Уприскування після основного реалізується також з малою тривалістю необхідної для допалювання палива з основного уприскування.

Три уприскування вже дозволяють оптимізувати спалювання палива в циліндрі, а, отже, підвищують індикаторний ККД дизеля.

Перевага швидкодіючого реверсивного механічного приводу в тому, що не потрібні джерела електричної енергії на відміну від форсунок з електроклапанним управлінням. Не потрібні складні пристрої перетворення і накопичення енергії в короткі проміжки часу. Це спрощує пристрій подачі палива, підвищує його надійність. Менше енергії витрачається на управління уприскуванням.

Література:

1. Возницкий И.В. Практика использования морских топлив на судах. Санкт-Петербург: изд. ГМА им. адм. С. О. Макарова. 2005. – 123 с.
2. Богачев С.А., Хрящев Ю.Е. Электрогидравлическая форсунка с двухпозиционным клапаном. Известия вузов. Машиностроение – 2002. – № 2. С. 61.

3. Погуляев Ю.Д. Патент РФ № 2501971. Способ управления подачей топлива и устройство управления подачей топлива. Заявл. № 2012141418/06.

DIESEL FUEL CONTROL SYSTEM IMPROVEMENTS

Lychko B.M., Makarenko O.S., Proskurin A.Yu., Rezanov I.O., Pinchuk P.O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Summary. A number of technical solutions to improve the fuel efficiency of diesel engines by improving the fuel supply control system are considered. It is proposed to implement multi-injection, which will optimize the combustion of fuel in the cylinder, and, consequently, increase the indicator efficiency. There is no need for complex devices for converting and storing energy in short periods of time, which simplifies the fuel supply device and increases its reliability.

Keywords: fuel system, injector, injection, piezo drive.

УДК 621.436:629.128.6

ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ MAN B&W ТИПУ ME З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ НА НИЗКОСІРЧАНОМУ ПАЛИВІ

Маулевич В. О.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одесь-
кого національного морського університету,

Одеса, Україна

vladyslavmaulevych@gmail.com

Варбанець Р. А.

доктор технічних наук, професор,

завідуючий кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського
національного морського університету,

Одеса, Україна

roman.varbanets@gmail.com

Анотація. Для флоту, що працює в регіонах Світового океану, з 1 січня 2020 року набули чинності нові вимоги Міжнародної морської організації (ІМО) за вмістом сірки у судновому паливі не більше 0,5% (VLSFO). Ці обмеження та перехід до нових видів палива призвели до ряду проблем пов'язаних, перш за все, з надійною та ефективною роботою дизеля, а по-друге, з реалізацією якісної діагностики технічного стану і параметричного аналізу робочого процесу під час експлуатації.

Ключові слова: судновий двигун з електронним керуванням, низко-сірчане паливо, інтелектуальний двигун, діагностика, робочий процес.

Постійною вимогою операторів суден є отримання мінімальних загальних експлуатаційних витрат, і особливо мінімально можливого споживання палива при будь-якому навантаженні і в даних умовах експлуатації, що, в свою чергу, повинно відповідати всім нормам по обмеженню викидів в атмосферу.

Двигуни фірми MAN-B&W серії ME (Electronically controlled), що характеризуються своєю економічністю та надійністю в роботі, представляють собою "інтелектуальний двигун", управління яким здійснюється за допомогою адаптивних автоматичних систем керування усіма вузлами, що дозволяє підтримувати ефективність двигуна та його робочі параметри у зазначених межах. У той же час, при використанні нових видів палива, такі двигуни та їх обслуговуючий персонал стикаються з низкою питань та проблем, рішенням яких і присвячена дана робота.

Завдання, поставлене діючими вимогами роботи дизельних двигунів на низько-сірчаному паливі, полягає в необхідності розробки алгоритмів і вдосконалення правил технічної експлуатації дизельних двигунів на номінальних та часткових режимах, одночасно забезпечуючи високу ефективність та безперебійну роботу.

В двигунах серії ME досягнення високоякісного керування досягається завдяки гнучкості та багатофункціональності в роботі всіх систем двигуна, а саме: управління подачею палива та випускним клапаном, турбонаддуванням, системою охолодження та змащення циліндрів; гарантуючи при цьому запобігання перевантаженню і виникнення несправності під час експлуатації.

Використання нових видів палива тягне за собою внесення серйозних коригувань до налаштувальних параметрів робочого процесу та оптимізації роботи двигуна, перехід на циліндрове мастило з необхідним лужним числом, регулювання параметрів системи охолодження, особливий контроль за очищенням і підготовкою палива. Обов'язковою вимогою, в той же час, є виконання індиціювання в реальному часі та постійний моніторинг параметрів робочого процесу, реалізація частих перевірок стану циліндра-поршневої групи та здійснення контрольних вимірювань зношування, інспекція усіх систем та вузлів, і, при необхідності, негайна організація заходів щодо уникнення серйозних пошкоджень двигуна або його повного виводу з ладу.

Література:

1. MAN ME Engine. Operating Manual. – Copenhagen, Denmark 2012. –607 p.
2. MAN ME Training course. Training documentation. – Copenhagen, Denmark, 2014.
3. MAN Service Letter Collection [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.imo.org/>.
4. MAN Service Experience 2006 – 2019 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.imo.org/>.
5. Lanchukovsky V.I. Safe Operation of Marine Power Plants. Marine Engineering Practice Series. London: IMarEST, 2009. – 155 p.

6. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. – М.: Моркнига, 2007. – 284 с.

7. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий, А. С. Пунда. – М.: Моркнига, 2008. – 470 с.

OPERATION OF VESSEL ENGINES MAN B&W ME TYPE WITH ELECTRONIC CONTROL ON LOW SULFUR FUEL OIL

Maulevych V. O.

PhD, assistant professor of "The Marine Power Plants and Technical Operation" department in Odessa National Maritime University,

Odesa, Ukraine

Varbanets R. A.

Dr.Sc., professor, Head of "The Marine Power Plants and Technical Operation" department in Odesa National Maritime University,

Odesa, Ukraine

Abstract. For the fleet operating in the oceans, new requirements of the International Maritime Organization (IMO) for sulfur content in marine fuels not exceeding 0.5% (VLSFO) came into force on January 1, 2020. These limitations and the transition to new fuels have led to a number of problems related, first of all, to the reliable and efficient operation of the diesel engine, and secondly, to the implementation of high-quality diagnostics and parametric analysis of the working process during operation.

Keywords: electronically controlled marine engine, low-sulfur fuel, intelligent engine, diagnostics, working process.

УДК 621.431

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО КОМПРЕСОРА

Мінчев Д. С.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок
та технічної експлуатації*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

dmytro.minchev@nuos.edu.ua

Гогоренко О. А.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок
та технічної експлуатації*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

oleksii.gogorenko@nuos.edu.ua

Мошенцев Ю. Л.

кандидат технічних наук,

*професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, установок
та технічної експлуатації*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

yurii.moshentsev@nuos.edu.ua

Анотація. Представлені схема дослідного стенду на базі відцентрового компресора авіаційного двигуна Walter 332. Використання різних конфігурацій стенда дозволяє виконувати експериментальні дослідження роботи компресора як на усталених режимах, так і в усіх видах неусталених режимів: обертового зриву, помірного помпажу та глибокого помпажу. Результати випробувань наведені в графічному вигляді.

Ключові слова: відцентровий компресор, помпаж, обертовий зрив, наддув ДВЗ

Відцентрові компресори широко використовуються для наддуву ДВЗ – як у складі турбокомпресора, так і в вигляді механічних нагнітачів. Цей тип компресора забезпечує високу ефективність у поєднанні з невеликими розмірами, але він також має деякі добре відомі недоліки пов'язані з узгодженням роботи з поршневою частиною двигуна. По-перше, відцентрові компресори потребують системи регулювання для досягнення бажаного рівня тиску наддуву в широкому діапазоні роботи двигуна, а по-друге, вони мають діапазон режимів, які характеризуються нестабільною роботою системи стиснення повітря. Розрізняють нестабільну роботу системи стиснення, при якій компресор працює в режимі обертового зриву та в режимі помпажу. Обидва ці режими можуть бути причиною зменшення ресурсу агрегату наддуву та двигуна в цілому і навіть призводити до аварійної зупинки двигуна. Отже, вони мають бути уникнені в експлуатації.

Експериментальні випробування ступені відцентрового компресора для всього діапазону можливих режимів роботи були здійснені на спеціальному стенді. Випробувальний стенд може мати три конфігурації, що дозволяє досліджувати три типи роботи компресора і зоні нестабільної роботи (зліва від границі помпажа на характеристиці компресора): «помірний» помпаж, «глибокий» помпаж та режим обертового зриву потоку.

Схема випробувального стенду наведена на Рис. 1. Відцентровий компресор авіаційного двигуна Walter M332 поєднаний з електричним двигуном постійного струму через планетарну передачу. Компресор нагнітає повітря до ресивера через вихідну трубу. Дві дросельні заслінки встановлені в проточній частині та слугують для зміни витрати повітря компресором. Основний дросель знаходиться на виході з ресивера, тоді як допоміжний дросель розташований близько до випускного отвору компресора перед ресивером. Допоміжний дросель служить для регулювання витрати повітря при роботі компресора за границею помпажу в режимі обертового зриву, а основний дросель використовується для вимірювання стандартної універсальної характеристики компресора а також для переведення системи стиснення в режими «помірного» та «глибокого» помпажу. «Глибокий» помпаж при цьому може бути отриманий за допомогою короткого нагнітального трубопроводу, що поєднує ресивер і вихідний отвір повітрязбірного корпусу компресора, тоді як «помірний» помпаж притаманний системі з довгим нагнітальним трубопроводом.

Стенд оснащений необхідними засобами вимірювання. Витрата повітря на усталеному режимі роботи вимірюється за допомогою стандартної впускної насадки або за допомогою датчика масової витрати повітря Siemens VDO 5WK9 6351. Для вимірювання зворотної витрати повітря та для фіксації швидкості повітря в умовах неусталених режимів роботи компресора використовувались трубки Піто: одна з них спрямована на вхід компресора, а друга – протилежно, на вхід повітря. Детальний вигляд схеми встановлення датчиків наведений на Рис. 4.9. Датчики тиску Motorola MPX5010DP диференціального типу використовуються для вимірювання рівня падіння тиску для зазначених цілей.

Результати статичних випробувань представлені на Рис. 2. Зазначені швидкість обертання колеса та витрата повітря визначаються як:

$$G_{air.ref} = G_{air} \frac{\sqrt{T_{int}/T_{ref}}}{(p_0 - \Delta p_{int})/p_{ref}}, \quad n_{cmpr.ref} = n_{cmpr} \sqrt{\frac{T_{int}}{T_{ref}}}$$

де p_0 – барометричний тиск, $T_{ref} = 300$ К та $p_{ref} = 96$ кПа – стандартні температура та тиск відповідно.

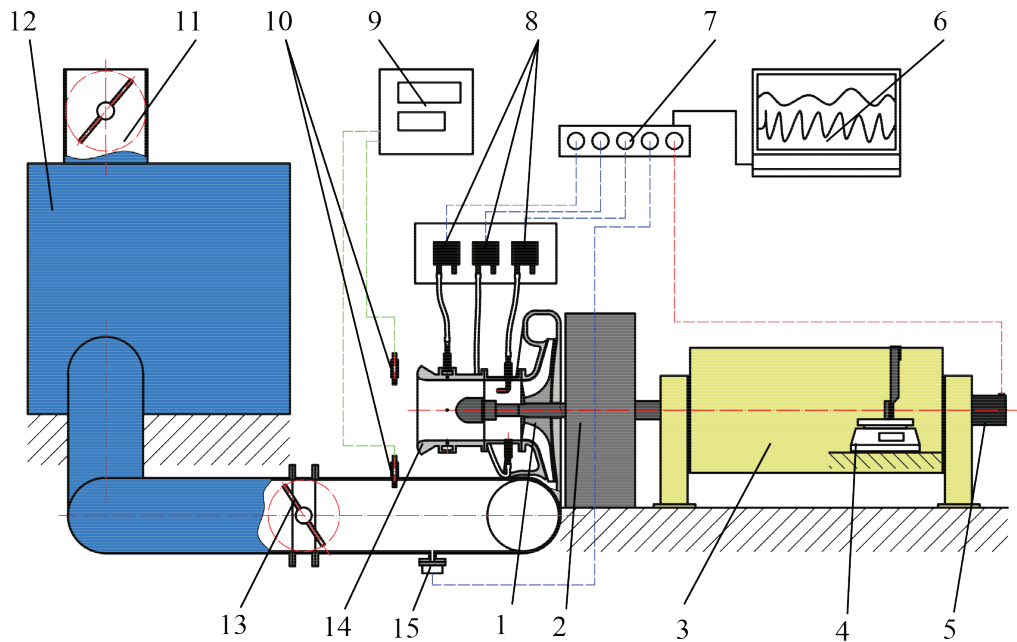


Рис. 1. Схема випробувального стенду ступеня відцентрового компресора.

1 – колесо компресора; 2- планетарна передача; 3 – електричний двигун постійного струму; 4 – електронні ваги; 5 – тахогенератор; 6 – персональний комп'ютер; 7 – аналого-цифровий конвертер; 8 – низка датчиків тиску Motorola MPX5010DP; 9 – електронний термометр; 10 – хромель-алюмелеві термопари; 12 – основний дросель; 12 – ресивер; 13 – допоміжний дросель; 14 – насадка для вимірювання витрати повітря (може бути замінена на датчик масової витрати повітря в залежності від мети експерименту Siemens VDO); 15 – датчик абсолютного тиску (Bosch 0281002401).

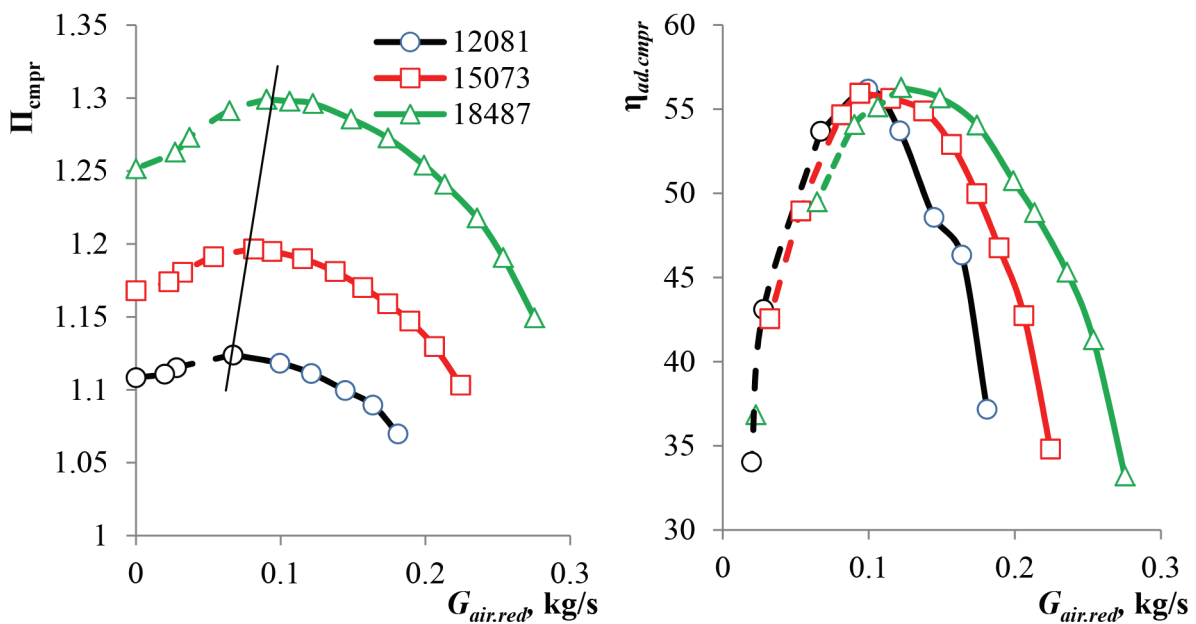


Рис. 2. Експериментальні статичні характеристики компресора:

- суцільні лінії відповідають роботі компресора при повністю відкритому допоміжному дроселі та регулюванні витрати повітря за рахунок основного дроселя;
- пунктирні лінії отримані при регулюванні витрати повітря допоміжним дроселем.

Представлені три криві постійної швидкості (ізотахи). Кожна ізотаха має дві частини. Перша частина описує роботу компресора з великим об'ємом ресивера – потік повітря контролюється основною дросельною заслінкою на виході з бака ресивера, тоді як допоміжний дросель на вході в ресивер повністю відкритий. Друга частина отримана як результат вимірювань роботи компресора на ресивер малого обсягу, коли потік повітря контролюється допоміжною дросельною заслінкою на вході в бак ресивера, а основний дросель на виході з ресивера залишається відкритим. Стабільна робота компресора з великим об'ємом приймача в цій області неможлива, оскільки виникає помпаж системи стиснення.

Безрозмірне представлення характеристик компресора показує, що експериментальні точки лежать на єдиній кривій, як це видно з Рис. 3. Коефіцієнт витрати Φ та коефіцієнт підвищення тиску Ψ_{cmpr} визначаються як:

$$\Phi = \frac{G_{air.ref}}{\rho_0 A_{cmpr} u_2}; \quad \Psi_{cmpr} = \frac{2\Delta p_{cmpr}}{\rho_0 u_2^2},$$

де Δp_{cmpr} – різниця тиску на нагнітанні та вході в компресор.

Таким чином, для вимірюваного діапазону швидкості компресора карти характеристики компресора – як витратна, так і характеристика ефективності – можуть бути виражені поліноміальними лініями, що дуже спрощує подальше їх застосування.

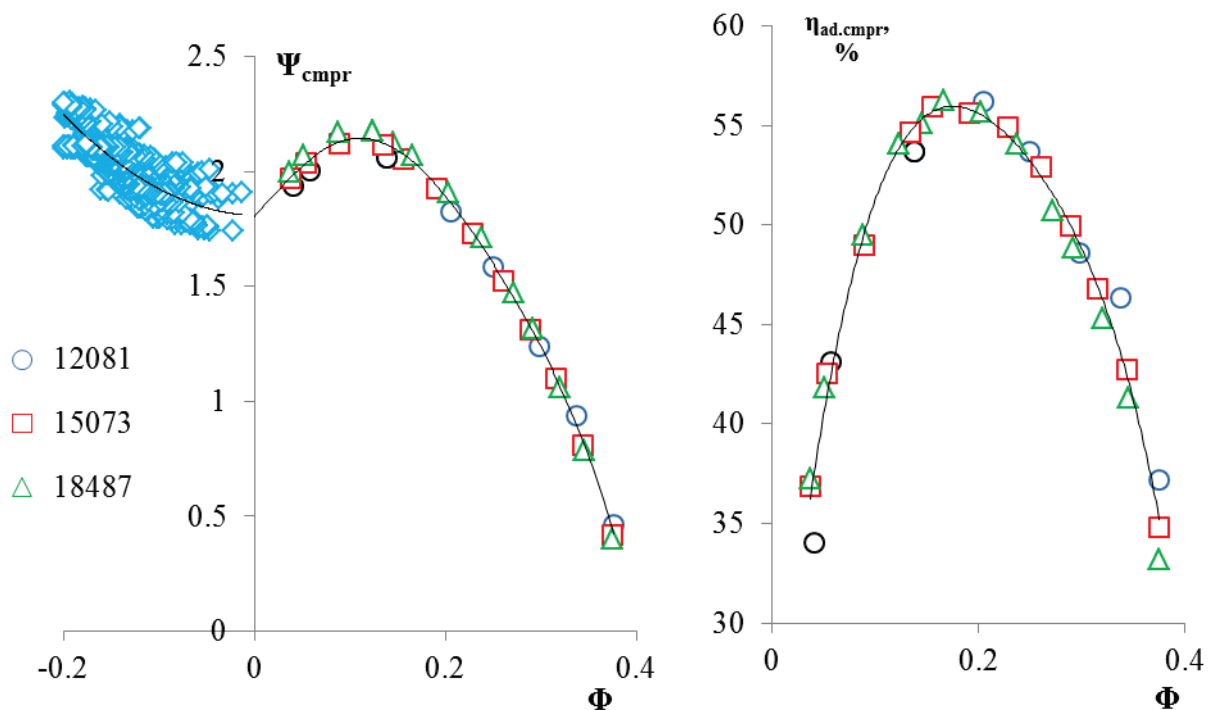


Рис. 3. Безрозмірне представлення характеристик компресора

На Рис. 4 представлено суміщення роботи системи в умовах помпажу та статичної характеристики компресора.

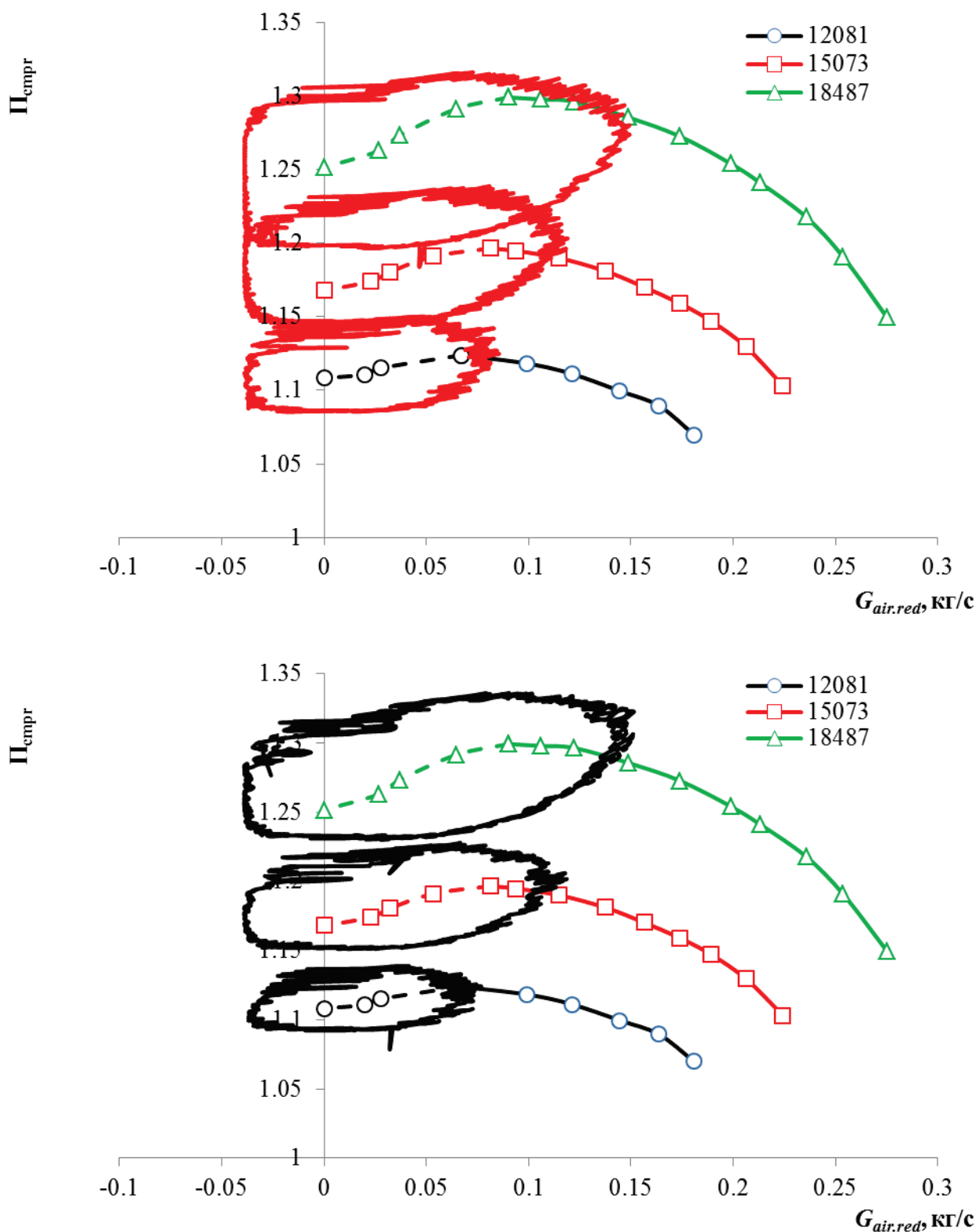


Рис. 4. Криві роботи системи в умовах помпажу
на статичній характеристиці компресора:
зверху – «помірний» помпаж, довгий нагнітальний трубопровід;
знизу – «глибокий» помпаж, короткий нагнітальний трубопровід;

Висновки

Таким чином, в ході експериментальних досліджень отримані необхідні дані для розробки математичної моделі урахування роботи відцентрового компресора в діапазоні нестабільних режимів роботи при синтезі робочого процесу ДВЗ.

Література:

1. **Day, I. J.** Stall Inception in Axial Flow Compressors. *ASME Journal of Turbomachinery*. Jan. 1993, 115(1), pp. 1-9.
2. **Fink, D. A., Cumpsty, N. A. and Greitzer, E. M.** Surge Dynamics in a Free-Spool Centrifugal Compressor System. *ASME. Journal of Turbomachinery*. 1992, 114(2), pp. 321-332.
3. **Day, I. J.** Axial Compressor Performance During Surge. *Journal of Propulsion and Power*. 1994, Vol. 10, 3, pp. 329-337.
4. **Zhao, Y., et al., et al.** Experimental investigation of transient characteristics of mild surge and diffuser rotating stall in a centrifugal compressor with vaned diffuser. *Sci. China Technol. Sci.* 2020, 63, pp. 1212-1223.

CENTRIFUGAL COMPRESSOR INSTABLE OPERATION EXPERIMENTAL RESEARCH

Minchev D. S.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Gogorenko O. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Moshentsev Y. L.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract The diagram of the research test-bench based on the centrifugal compressor for Walter 332 piston engine is presented. The test-bench different setup allows to measure the centrifugal compressor parameters in the steady operation mode as well as in all types of unstable modes: rotating stall, mild surge and deep surge. The experimental diagrams are also shown.

Keywords: centrifugal compressor, surge, rotating stall, supercharging

УДК 621.431

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТУРБОНАДДУВУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ І НАПРЯМКУ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

Мухаметханов Р. С.

магістрант,

Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

м. Херсон, Україна

artem_andreev@ukr.net

За результатами аналізу ефективності охолодження повітря на вході суднових ДВЗ визначено раціональні параметри холодильної установки охолодження повітря на вході ДВЗ, що забезпечують максимальні скорочення витрат палива і відповідно збільшення ККД ДВЗ.

Ключові слова: ДВЗ, наддувне повітря, холодильна установка

З метою визначення резервів підвищення ефективності турбонаддуву суднових головних двигунів (ГД) і доцільності застосування теплоутилізаційних систем, що використовують теплоту наддувного повітря, було проведено розрахунок потужності утилізаційної турбіни N_T і компресора N_K наддувного ТК дизеля та визначено умови, за яких резерв потужності ТК достатній для використання в турбодетандерних установках (ТДУ) охолодження повітря на вході ТК. Резерв потужності визначався як відношення $\Delta N_{TK} = (N_T - N_K) / N_K$. При розрахунках використовувались характеристики двигунів виробництва фірми "Вяртсила Нью Зульцер".

За базовий було прийнято мало оборотний дизель 5RTA 52 потужністю $N_e = 8000$ кВт виробництва фірми "Вяртсила Нью Зульцер".

Розрахунки виконувалися з послідовним уточненням умов роботи ТК: спочатку без урахування впливу температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході компресора ТК на температуру відхідних газів $t_{г1}$ на вході утилізаційної ГТ: $t_{г1} = f(t_{нв})$; потім з урахуванням впливу температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході компресора ТК на температуру відхідних газів $t_{г1}$, але без урахування залежності ККД компресора η_K від ступені підвищення тиску π_K ; і нарешті з урахуванням залежності ККД компресора η_K від π_K .

Результати розрахунку потужності турбіни N_T і компресора N_K ТК дизеля при $\pi_K = 4$ і $\eta_K = 0,80$ та резерву потужності ТК $\Delta N_{TK} = (N_T - N_K) / N_K$ 100 % в залежності від температури зовнішнього повітря $T_{нв}$ на вході ТК з урахуванням залежності температури відхідних газів $T_{г1}$ на вході турбіни ТК від температури зовнішнього повітря $T_{нв}$ наведено на рис. 1.

При цьому згідно з даними провідних двигунобудівних фірм "МАН Бурмейстер і Вайн" та "Вяртсила Нью Зульцер" приймалось, що підвищення температури зовнішнього

повітря на вході ТК на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ спричиняє зростання температури газів на виході з циліндрів ДВЗ на $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Приймалось також, що $\eta_k = 0,80$ при $\pi_k = 3$ і 4 .

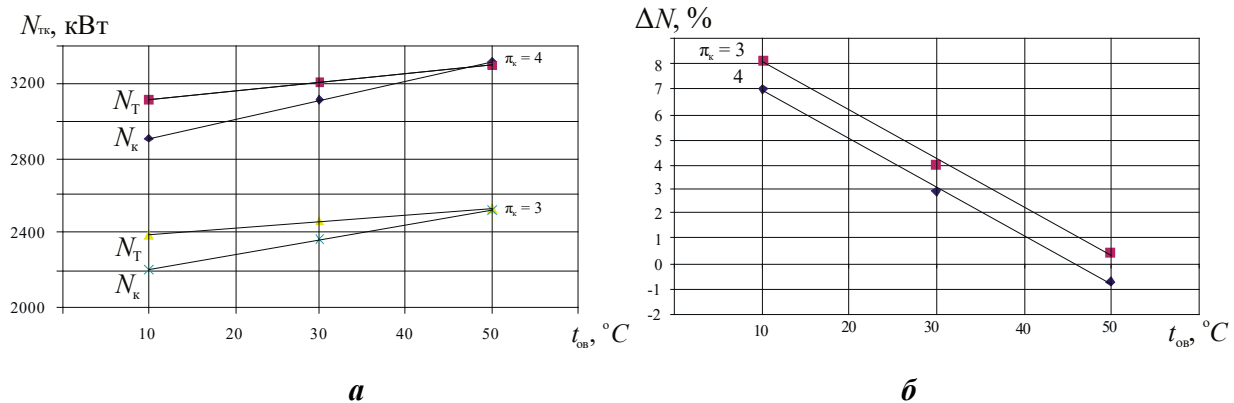


Рисунок 1. Потужності турбіни N_T і компресора N_K ТК дизеля при $\pi_k = 4$ (а) та резерв потужності ТК $\Delta N_{TK} = (N_T - N_K)/N_K \cdot 100\%$ (б) в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході ТК з урахуванням залежності температури відхідних газів на вході турбіни ТК від температури $t_{нв}$: дизель 5RTA 52 "Вяртсила Нью Зульцер", $N_e = 8000\text{ кВт}$

Як видно, завдяки такому коригуванню отримано вже ближчі до реальних і значно більші величини резерву потужності ТК практично в усьому діапазоні температур $t_{нв}$, аж до температури $t_{нв} \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. В інтервалі температур $t_{нв} \approx 10...20\text{ }^{\circ}\text{C}$ значення ΔN_{TK} становили $5...8\%$, причому при менших π_k резерв потужності ΔN_{TK} більший, що вказує на недоцільність його реалізації підвищенням тиску в наддувному турбокомпресорі, як це здійснювалось у традиційній турбодетандерній установці (ТДУ) охолодження наддувного повітря двигунів фірми "Купер-Бессемер".

Подальші розрахунки проводились з урахуванням як впливу температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході компресора ТК на температуру відхідних газів $t_{г1}$, так і залежності ККД компресора η_k від степені підвищення тиску π_k : $\eta_k = f(\pi_k)$. Так, прийнято $\eta_k = 0,85$ при $\pi_k = 3$; $\eta_k = 0,80$ при $\pi_k = 4$.

Вочевидь, надлишкову енергію відхідних газів (понад енергію, необхідну для приводу наддувного компресора) доцільніше реалізовувати збільшенням продуктивності ТК при максимальних ККД, тобто виходити з надлишку продуктивності ТК $\Delta G = (G_k - G_{кн})/G_{кн} \cdot 100\%$, де $G_{кн}$ – продуктивність компресора, необхідна для наддуву дизеля, яку забезпечує утилізаційна ГТ при використанні відповідної частини енергії відхідних газів; G_k – продуктивність компресора, яку здатна забезпечити утилізаційна ГТ за умови повного використання енергії відхідних газів.

Результати розрахунку резерву продуктивності ТК $\Delta G = (G_k - G_{кн})/G_{кн} \cdot 100\%$ в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{нв}$ на вході ТК без урахуванням залежності ККД

компресора η_k від π_k і з її врахуванням наведено на рис. 2, **а** і **б**. Прийнято $\eta_k = 0,85$ при $\pi_k = 3$; $\eta_k = 0,80$ при $\pi_k = 4$.

Як видно з рис. 2, **б**, значення резерву продуктивності ТК становлять $\Delta G = 6...14$ % при $\pi_k = 3$ в інтервалі температур $t_{\text{нв}} = 45...10$ °С. При менших π_k і $t_{\text{нв}}$ резерви продуктивності ΔG більші, що вказує на доцільність застосування ТДУ для охолодження зовнішнього повітря на вході ТК, оскільки при цьому ТК експлуатується при оптимальних (не підвищених) π_k , які відповідають максимальним ККД ТК. До того ж зниження температури зовнішнього повітря $t_{\text{нв}}$ на вході ТК завдяки його змішуванню з повітрям, охолодженим у процесі розширення в турбодетандері, забезпечує зростання частки холодного повітря ΔG , яка подається від турбодетандера.

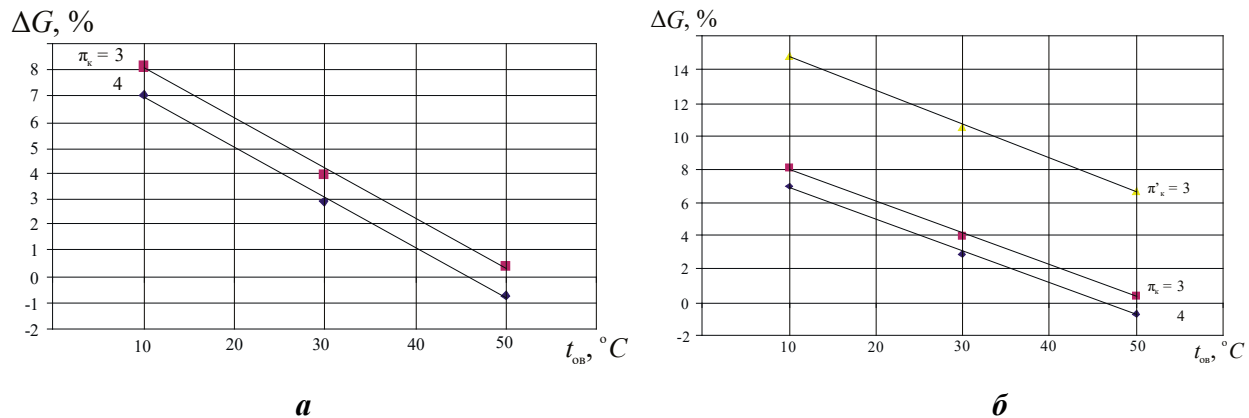


Рисунок 2. Резерв продуктивності ТК $\Delta G = (G_k - G_{\text{кн}}) / G_{\text{кн}} \cdot 100$ % в залежності від температури зовнішнього повітря $t_{\text{нв}}$ на вході ТК без урахування залежності ККД компресора η_k від π_k (**а**) і з її врахуванням (**б**): $\pi'_k = 3$ – урахування $\eta_k = f(\pi_k)$; $\pi_k = 3$ – без урахування $\eta_k = f(\pi_k)$

В ТКС провідних фірм механічна енергія, що виробляється додатковою утилізаційною турбіною передається на гребний вал або використовується для приводу електрогенератора. Зрозуміло, що такі ТКС вельми дорогі і призводять до значного ускладнення всієї дизельної установки, через що фірми не рекомендують їхнє застосування при потужностях головного дизеля менше 20 МВт.

Отже при потужностях головного дизеля менше 20 МВт 8...15%-й надлишок потужності (відповідно й продуктивності) наддувних ТК доцільно реалізувати шляхом використання надлишкових 8...15 % витрат наддувного повітря у турбодетандері ТДУ охолодження зовнішнього повітря на ході ТК.

Висновки:

1. Застосування турбодетандерної установки (ТДУ) попереднього охолодження зовнішнього повітря на вході ДВЗ, що використовує теплоту відхідних газів, забезпечує

зменшення питомої витрати палива приблизно на 4 % та приріст ККД ДВЗ на 2 % в абсолютних і 4 % у відносних величинах.

2. Застосування ТДУ у комбінації з ежекторною холодильною машиною (ЕХМ), що використовує теплоту наддувного повітря, подвоює приріст ефективності ДВЗ і забезпечує зменшення питомої витрати палива на 8 % та приріст ККД ДВЗ на 4 % в абсолютних і 8 % у відносних величинах.

Література:

1. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. -http://www.mandiesel.com/files/news/files/762/5510-0005.00pr_low.pdf.
2. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 1986.
3. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005.-
<http://www.mandiesel.com/files/news/files/5055/P3339161.pdf>.
4. Zinner K., Reinloin H. Thermodynamische Untersuchung uber die Anwendbarkeit der Turbokuhlung bei aufgeladenen vierfakt // Dieselmotoren, "MTZ". – 1964. – Nr. 5. – S. 188–195.
5. Heim K. Existing and Future Demands on the turbocharging of Modern Large Two-stroke Diesel Engines // 8-th Supercharging Conference, Dresden, 1-2 October 2002.
6. Shiraishi K., Ono Y. Hybrid Turbocharger with integrated High Speed Motor-generator // Technical Review: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. – 2007. –Vol. 44. –No. 1 (Mar.). – 3 p. –
<http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e441/e441049.pdf>
7. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.

DETERMINATION OF RESERVES FOR INCREASING THE TURBOCHARGING EFFICIENCY OF SHIP DIESELS AND THE DIRECTION OF THEIR IMPLEMENTATION

Muhamethanov Rinat Sagilovich

undergraduate,

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine

artem_andreev@ukr.net

Abstract. Based on the results of the analysis of air cooling efficiency at the inlet of ship internal combustion engines, the rational parameters of the refrigeration unit for air cooling at the inlet of the internal combustion engine are determined, which provide maximum reduction of fuel consumption and accordingly increase of internal combustion engine efficiency

Key words: internal combustion engine, supercharged air, refrigeration unit

УДК 621.43:62

ІСТОРІЯ СТВОРЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТИПУ Д100

Наливайко В.С.

*професор кафедри ДВЗУ та ТЕ,
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Хоменко В.С.

*викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики
Херсонської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсон, Україна
khomenkovictoria93@gmail.com*

Савчук П.С.

*студент Херсонської філії Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
м. Херсон, Україна*

Анотація. В роботі розглянуто найбільш значущі історичні етапи створення модельного ряду двигунів внутрішнього згоряння типу Д100 та перспективи вдосконалення.

Ключові слова. Д100, ПРП

У 1948 р. з ініціативи міністра Максарева, Мінтрансмашем було ухвалене рішення про організацію на заводі №75 (у майбутньому – завод імені Малишева м. Харків) серійного виробництва потужних суднових і тепловозних дизелів (потужністю 2000 л.с.). Мінтрансмашем на підставі вивчення й оцінки великої кількості двигунів був визначений прототип – судновий 10-циліндровий двотактний дизель фірми «Фербенкс Морзе» (США). Серії 38 D8-1/8- із прямоточно-щілинною продувкою з діаметром циліндра $D_{\text{ц}} = 206,4$ мм і ходом поршнів $S = 2 \times 254$ мм. Такими дизелями (у якості головних) були обладнані криголами (дизель-електроходи) «Капітан Смирнов», «Північне сяйво», «Північний полюс», отримані в роки війни зі США по ленд-лізу, що й експлуатувалися в акваторії портів Мурманськ і Ленінград, а також на трасах Північного Морського шляху. Із заводу ім. Малишева в Ленінград виїхала велика група фахівців-дизелістів (конструкторів, технологів, металургів, виробничників) для ознайомлення в Морській гавані, безпосередньо на криголамі, із цими дизелями, супровідною документацією, досвідом їх експлуатації в СРСР. Але головним завданням було ескізування й мікрометраж усіх вузлів, деталей, механізмів, інструмента, здійснення аналізів матеріалів, а також випуск креслень. Велику допомогу в організації й проведенні цих робіт проявив головний конструктор ЦКБС-4 (м. Ленінград), який був активним прихильником освоєння в СРСР цих дизелів для суднобудування.[1]

Протягом 1949-1950 років на заводі в Харкові допрацьовувалася технічна документація, випускалися робочі креслення, розроблялися технологічні процеси. В 1950 р. була розроблена конструкція й випущені креслення дослідного одноциліндрового відсіку ОД100 дизеля.

Інтенсивно проводилася підготовка виробництва – купувалося й встановлювалося нове обладнання, виготовлявся інструмент, моделі й інше оснащення.

В 1951 році був виготовлений дослідний відсік ОД100, обладнаний стенд для його випробувань, розпочаті доводочні випробування по відпрацьовуванню робочого процесу паливної апаратури, систем охолодження, змащення. В 1952 році був виготовлений перший дослідний розгорнутий дизель 2Д100, що успішно пройшов на стенді обкатні й здавальні випробування. На заводі цей двигун отримав позначення 2Д100. Він представляв для цього підприємства принципово новий тип дизеля: двотактний, вертикальний, рядний, 10-циліндровий з поршнями, що протилежно рухаються, двовальний, із прямоточно-щілинною продувкою та безпосереднім упорскуванням палива, із приводним від верхнього колінчатого вала об'ємним нагнітачем типу РУТ. Відбір потужності здійснювався від нижнього колінчатого вала. В 1953 р. завод виготовив першу секцію нового вантажного тепловоза ТЕ-3, на яку був встановлений перший дизель 2Д100. В IV кварталі 1955 р. завод уже почав серійне виробництво дизелів Д100 і тепловозів ТЕ-3. Слід зазначити, що освоєння виробництва тепловозів ТЕ-3 з дизелями 2Д100 забезпечило заплановане урядом переведення залізничного транспорту в СРСР із паровозної тяги на тепловозну. В 1956 р. у СРСР було припинене виробництво паровозів.

У міру освоєння серійного виробництва тепловозних дизелів 2Д100, а потім 10Д100, завод ім. Малишева приступив до розробки конструкцій, доведенню й впровадженню в серійне виробництво модифікацій дизель-генераторів типу Д100 для різних галузей народного господарства. На базі тепловозного дизеля 2Д100 були створені й впроваджені в серійне виробництво модифікації: суднові (для суховантажних суден, рефрижераторів, танкерів, портових криголамів і інших суден) – 3Д100 (1957 р.) 3Д100М (1959 р.), 13Д100 (1960 р.); стаціонарні (для автономних електростанцій – для метро, сільських районів, золотих і алмазних копалень у Сибіру й на Крайнім Півночі, спецоб'єктів) – 4Д100 (1957 р.), 7Д100, 11Д100 (1959 р.), 12Д100 (1960 р.). На базі тепловозного дизеля 10Д100 був створений і впроваджений у серійне виробництво (1964 р.) судновий дизель-генератор 14Д100 з турбонаддувом, що встановлювався на морські залізничні поромы типу «Сахалін» (лінії Атерик-Холмск, о. Сахалін; Красноводськ-Баку).

Значним внеском у технічний прогрес вітчизняного двигунобудування з'явилися створені на заводі ім. Малишева газові модифікації дизелів типу Д100, що працюють на при-

родному газі-метані. Експерименти проводилися на дослідних відсіках по газодизельному робочому процесу (із присадкою запального рідкого палива) і «чисто» на газовому робочому процесу. Їхні результати показали значні техніко-економічні й експлуатаційні переваги «чисто» газового робочого процесу, здійсненого з камерно-смолоскиповим запаленням, з електрозапалюванням, високим ступенем стиснення. Створені на базі двигуна Д100 стаціонарні ротор-генератори 11Д100 потужністю 2500 л.с. при частоті обертання 720 хв.^{-1} у 1964 р. почали широко застосовуватися на магістральних газопроводах (Бухара- Урал, Середня Азія – Центр, «Північне сьйво», «Дружба», в Афганістані).

У сучасній двигунобудівній практиці набув розвитку напрям електронного управління системами двигунів. З'явилася можливість оптимізації паливоподачі та процесів газообміну в них під час його роботи. Саме максимальне використання мікропроцесорних технологій у системах управління тепловозних дизелів визначило наступний щабель розвитку дизелів.

Впровадження системи попереднього підігріву палива на лінії високого тиску дизеля типу Д100 різко знизила період затримки запалення, зменшила темп підйому тиску (жорсткість процесу). Активний період згоряння палива змістився ближче до ВМТ.

Аналіз експлуатаційної надійності турбокомпресорів дизеля 10Д100 показує, що найбільш частою причиною відмови (49%) є закоксовування проточної частини турбіни. Через забруднення проточної частини турбіни в процесі експлуатації неминуче відбувається неузгодженість характеристик турбокомпресора з характеристиками дизеля. [2]

Значні перспективи має використання симетричної одноступінчастої схеми полігазотурбонаддува. Таке технічне рішення дозволить реалізувати необхідну потужність у всіх точках швидкісної характеристики при високій економічності, як на номінальному режимі роботи, так і на часткових навантаженнях. Доцільно створення схеми полігазотурбонаддува (ПГТН), що складається з чотирьох турбокомпресорів при відповідному секціонуванні колекторів і ресиверів.

Роботу щодо підвищення механічного ККД серійних дизелів слід проводити в напрямках зниження втрат на тертя, на привід допоміжних механізмів і насосних втрат.

Література:

1. ХПЗ –завод імені Малишева 1895-1995. (Колектив авторів). – Харків «Прапор», 1995, 685 с.
2. Обозов, А. А. Номографический метод оценки эффективности функционирования турбокомпрессоров судовых дизелей / А. А. Обозов // Двигателестроение. Москва, 2007. № 2. с. 37–41.

HISTORY OF CREATION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

TYPE D100

Nalyvaiko Vasyi

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Khomenko Viktoriia

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding;

Savchuk Petro

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper considers the most significant historical stages of creating a model range of internal combustion engines type D100 and prospects for improvement.

Key words: D100, oppositely moving pistons

УДК 621.43

АНАЛІЗ ВЗАЄМНОГО РУХУ ПОРШНІВ ДВОТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ ТИПУ Д100

Наливайко В. С.

професор кафедри ДВЗУ та ТЕ,

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Авдюнін Р. Ю.

викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики

*Херсонської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Херсон, Україна
Roman021187@gmail.com*

Челпанов А. О.

*студент Херсонської філії Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова
м. Херсон, Україна*

Анотація. У роботі показано, що на індикаторну потужність двигуна Д100, її розподіл між колінчастими валами суттєво впливає кут β , збільшення якого покращує процеси газообміну, але зменшує об'єм циліндра.

Ключові слова: Д100, ПРП, математичка модель

Двотактні дизелі із протилежним рухом поршнів, які створені на базі двигуна моделі Д100 заводу ім. В.А. Малишева, широко застосовуються в суднових і тепловозних енергетичних установках та енергетичних установках армійських машин. [1, 2] Безперервне зростання вимог до екологічних, економічних та експлуатаційних показників двигунів вимагає використання інноваційних технологій на всіх стадіях досліджень і вдосконалень, що потребує

розробки адекватних математичних моделей робочого процесу двигуна із подальшою їхньою оптимізацією.

Якість математичної моделі суттєво залежить від точності представлення впливу конструктивних факторів на робочі процеси і показники двигуна. Одним із таких факторів, зважаючи на оригінальність кінематичної схеми дизеля Д100, є зміна об'єму міжпоршневої порожнини циліндра від кута повороту нижнього колінчастого валу.

Об'єм V міжпоршневої порожнини циліндра двотактного двигуна із протилежно рухомими поршнями (ПРП) при повороті нижнього колінчастого валу (КВ) на кут φ , відлік якого здійснюється від внутрішньої верхньої мертвої точки (ВМТ) нижнього поршня, становить [1]

$$V = V_{\min} + F \left\{ R_H \left(\frac{1}{\lambda_H} + 1 - \cos \varphi - \sqrt{\frac{1}{\lambda_H^2} - 1 + \cos^2 \varphi} \right) + R_B \left[\left(\frac{1}{\lambda_B} + 1 - \cos(\varphi - \beta) - \sqrt{\frac{1}{\lambda_B^2} - 1 + \cos^2(\varphi - \beta)} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

де $V_{\min}$ – мінімальний об'єм міжпоршневої порожнини циліндра (об'єм камери стиснення V_c), м^3 ;

$$F = \pi \frac{D_{\text{ц}}^2}{4} - \text{площа перерізу циліндра, } \text{м}^2,$$

тут $D_{\text{ц}}$ – діаметр циліндра, м;

R_H, R_B – радіуси нижнього і верхнього мотилів, м;

$$\lambda_H = \frac{R_H}{l_H}, \lambda_B = \frac{R_B}{l_B} - \text{кінематичні коефіцієнти (відносні радіуси) нижнього і верхнього мотилів,}$$

тут l_H, l_B – довжина шатунів нижнього і верхнього поршнів;

β – кут зсуву фаз мотилів – кут запізнення верхнього мотила відносно нижнього.

У більш компактній формі рівняння (1) буде мати наступний вигляд:

$$V = V_{\min} + F(s_H + s_B) = V_{\min} + F(R_H \sigma_H + R_B \sigma_B), \quad (2)$$

де s_H, s_B – переміщення нижнього і верхнього поршнів від ВМТ нижнього поршня в залежності від кута повороту φ мотила нижнього КВ, м;

для випускного (нижнього) поршня

$$\sigma_H = \frac{1}{\lambda_H} + 1 - \cos \varphi - \sqrt{\frac{1}{\lambda_H^2} - 1 + \cos^2 \varphi}; \quad (3)$$

а для продувного (верхнього) поршня

$$\sigma_B = \frac{1}{\lambda_B} + 1 - \cos(\varphi - \beta) - \sqrt{\frac{1}{\lambda_B^2} - 1 + \cos^2(\varphi - \beta)}. \quad (4)$$

Для подальшого аналізу та інтерпретації одержаних математичних залежностей визначимо швидкість поршнів циліндра і зміну об'єму міжпоршневої порожнини у часі, скориставшись рівнянням (5)

Швидкість зміни об'єму міжпоршневої порожнини із урахуванням рівняння (5) представиться залежністю:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{Fd(s_H + s_B)}{d\tau} = F(C_H + C_B) \quad (5)$$

Швидкість переміщення поршнів C у залежності від кута повороту КВ визначається за формулою

$$\bar{C} = \frac{ds}{d\tau} = \frac{ds}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{d\tau} = \vec{\omega} \frac{ds}{d\varphi} = \vec{\omega} R \frac{d\sigma}{d\varphi} = \vec{U} \sigma'. \quad (6)$$

Швидкість окремого поршня циліндра

$$\bar{C}_H = \vec{U}_H \sigma'_H = \vec{U}_H \sin \varphi \left(1 + \lambda \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} \right), \quad (7)$$

$$\bar{C}_B = \vec{U}_B \sigma'_B = \vec{U}_B \sin(\varphi - \beta) \left(1 + \lambda \frac{\cos(\varphi - \beta)}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\varphi - \beta)}} \right); \quad (8)$$

де $s = R\sigma$ – переміщення поршня, м;

τ – час переміщення поршня, с;

$\vec{\omega} = \frac{\pi n}{30}$, рад/с, $\vec{\omega} = 6n$, град/с – кутова швидкість КВ;

тут n – частота обертання КВ, хв.⁻¹;

$\vec{U} = \vec{\omega} \cdot R$ – колова швидкість мотилів КВ, м/с.

Відповідно до рівняння (5) зміна об'єму міжпоршневої порожнини у часі визначається відносною швидкості поршнів, яка залежить не тільки від значень швидкості поршнів, але і від їхнього взаємного напрямку. Як показує рівняння (6) швидкість і напрямок руху поршня $\bar{C}$ можна представити як проекцію вектору колової швидкості $\vec{U}$ мотиля КВ на вісь циліндра. Роль оператора такого відображення виконує функція σ' .

Обертання нижнього КВ відбувається проти годинникової стрілки, що відповідає додатному знаку $\vec{\omega}_H$ і $\vec{U}_H$. Тому напрям руху нижнього поршня згідно рівняння (7) залежить від знаку $\sin \varphi$ і при його додатному значенні у діапазоні $0 \leq \varphi \leq \pi$ відповідає руху поршня

від ВМТ до НМТ. У діапазоні $\pi \leq \varphi \leq 2\pi$ знак $\sin \varphi$ має від'ємне значення, тобто має місце протилежний рух поршня – від НМТ до ВМТ.

Обертання верхнього КВ відбувається за годинниковою стрілкою, що відповідає від'ємному знаку $\vec{\omega}_H$ і $\vec{U}_H$. У відповідності до рівняння (8) при додатному значенні $\sin(\varphi - \beta)$ у діапазоні $\beta \leq \varphi \leq \pi + \beta$ верхній поршень рухається у протилежному від напрямку руху нижнього поршня, що супроводжується збільшенням міжпоршневої порожнини і відповідає процесу розширення робочого тіла.

У діапазоні $\pi - \beta \leq \varphi \leq 2\pi - \beta$ поршні рухаються назустріч один одному, об'єм міжпоршневої порожнини зменшується, що відповідає процесу стискання робочого тіла.

Розглянемо особливості руху поршнів у діапазоні $0 \leq \varphi \leq \beta$. При $\varphi = 0$ нижній (випускний) поршень досягає ВМТ, де змінюється напрям його руху, а його швидкість $C_H = 0$. Верхній (продувний) поршень при $\varphi = 0$ продовжує рухатися у напрямку нижнього КВ, і при $\varphi > 0$ верхній і нижній поршні рухаються в одному напрямку, $C_B > C_H$, але швидкість верхнього поршня поступово знижується а верхнього зростає тобто верхній поршень "наздоганяє" нижній і тому об'єм міжпоршневої порожнини продовжує зменшуватися. При $\varphi = \varphi_{ex} = \varphi_{min} = \beta/2$ швидкість поршнів стає однакою $C_H = C_B \neq 0$ і вони рухаються в одному напрямку, тобто швидкість зміни об'єму міжпоршневої порожнини дорівнює нулю, а $V = V_{min}$.

На ділянці $\beta/2 \leq \varphi \leq \beta$ поршні продовжують рухатися в одному напрямку при цьому швидкість нижнього поршня починає зростати, а верхнього продовжує знижуватися ($C_H > C_B$). Об'єм міжпоршневої порожнини починає зростати. При $\varphi = \beta$ верхній (продувний) поршень досягає своєї ВМТ, де змінює свій напрям руху, а його швидкість $C_B = 0$. Об'єм міжпоршневої порожнини продовжує зростати за рахунок збільшення C_H

Аналогічні зміни об'єму і швидкості руху поршнів має місце біля другого значення екстремального кута $\varphi = \varphi_{ex} = \varphi_{max} = \beta/2 + \pi$. При $\varphi = \pi$ нижній поршень досягає своїй НМТ, де змінює свій напрям руху, його швидкість $C_H = 0$, а верхній поршень продовжує уповільнено рухатися у напрямку верхнього КВ тому об'єм міжпоршневої порожнини продовжує збільшуватися. При $\varphi = \beta/2 + \pi$ швидкість поршнів стає однакою $C_H = C_B \neq 0$ і вони рухаються в одному напрямку, тобто швидкість зміни об'єму міжпоршневої порожнини дорівнює нулю, а об'єм міжпоршневої порожнини досягає свого максимального значення $V = V_{max}$.

У діапазоні $\beta/2 + \pi < \varphi < \pi + \beta$ верхній і нижній поршні продовжують рухатися в одному напрямку але тут $C_B < C_H$, і тому об'єм міжпоршневої порожнини поступово зменшується, а при $\varphi \geq \pi + \beta$ верхній поршень починає рухатися назустріч нижньому, що призводить до більш інтенсивного зменшення міжпоршневої порожнини циліндра.

Визначимо значення кутів, які відповідають екстремальним значенням швидкості поршнів, тобто коли їхнє прискорення $a = 0$

$$a = \frac{d\bar{C}}{d\tau} = \frac{d\bar{C}}{d\varphi} \frac{d\varphi}{d\tau} = \omega \frac{d\bar{C}}{d\varphi} = \omega^2 R \frac{d\sigma'}{d\varphi} = \omega \vec{U} \sigma'' = 0, \quad (9)$$

$$\text{де } \sigma'' = \frac{d\sigma'}{d\varphi} = \cos \varphi + \frac{\lambda \cos 2\varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} + \frac{\lambda^3 \sin^2 2\varphi}{4(1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}.$$

За наближеною формулою

$$\sigma'' \approx \cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi \quad (10)$$

Висновки:

1. Протилежний рух поршнів у циліндрі забезпечується лише при відсутності кута зсуву фаз мотилів $\beta = 0$. Зміна напрямку руху поршнів має місце лише при екстремальних значеннях φ_{ex} , коли $V = V_{\min}$ і $V = V_{\max}$ при $C = 0$;

2. При $\beta > 0$ в інтервалі зміни кута $0 < \varphi < \beta$ поршні рухаються в одному напрямку, а при значенні $\varphi = \varphi_{\text{ex}}$ вони мають однакову швидкість рухаючись в одному напрямку;

3. На індикаторну потужність двигуна, її розподіл між КВ суттєво впливає кут β , збільшення якого покращує процеси газообміну, але зменшує об'єм циліндра.

Література:

1. Дяченко В.Г. Д93 Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: Підручник / за ред. А.П. Марченка. Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 488 с.
2. Петровский Н.В. Метод расчёта индикаторной мощности двигателя с противоположно движущимися поршнями. М.-Л., 1951.
3. Сегаль В.Ф. Динамические расчеты двигателей внутреннего сгорания. Л., "Машиностроение", 1974, 248 с.

ANALYSIS OF THE RETURNING HANDLE OF PISTONS OF A TWO-STROKE DIESEL TYPE D100

Nalyvaiko Vasyi

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Avdiunin Roman

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding;

Chelpanov Andrii

Kherson Branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper shows that the indicator power of the D100 engine, its distribution between the crankshafts is significantly affected by the angle β , the increase of which improves the gas exchange processes, but reduces the volume of the cylinder.

Key words: D100, oppositely moving pistons, mathematical model

УДК 621.57

ВПЛИВ ДВОСТУПЕНЕВОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ АВТОНОМНОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Грич А.В. *к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації;*
Остапенко О.В. *к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації;*
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв,

ORCID: 0000-0002-2142-3665, 0000-0001-7343-6743

artem.grich@gmail.com

Виконано аналіз ефективності охолодження припливного повітря машинного відділення когенераційних газових двигунів автономної теплоелектростанції. Розглянуто систему двоступеневого охолодження повітря з використанням абсорбційної холодильної машини і зональною повітроподачею. Запропоновано способи обробки їх припливного повітря машинного відділення, що забезпечують його глибоке охолодження.

Ключові слова: охолодження, система кондиціювання, машинне відділення, газовий двигун, повітроохолоджувач.

В результаті аналізу існуючих систем кондиціювання машинних відділень (МВ) установок автономного енергозабезпечення на базі газових двигунів (ГД) виявлено резерви підвищення їх ефективності, розроблені раціональні схемно-конструктивні рішення по вдосконаленню енерговитратних традиційних систем охолодження припливного повітря МВ в центральному кондиціонері. Згідно із запропонованим принципом локального повітропостачання глибоке охолодження доцільне тільки для циклового повітря на вході ГД, а до інших джерел тепловиділень в МВ (електрогенератор, головки циліндрів двигуна і т.д.) можна подавати або вентиляційне повітря, або припливне повітря, охолоджуване в кондиціонері, в який подають холодну воду від АБХМ.

Для скорочення витрат холоду на кондиціювання циклового повітря ГД і підвищення ефективності його охолодження була розроблена схема системи двоступеневого кондиціювання повітря на вході в ГД. Особливістю такої системи є те, що повітря на вході в двигун охолоджується в двоступеневому повітроохолоджувачі (ПО). Повітроохолоджувач складається з високотемпературного ступеня ПО_{ВТ}, в який подається холодоносія-вода з температурою 7 °С від абсорбційної бромистолітієвої холодильної машини (АБХМ), і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ}, з температурою холодоносія-води 4 °С, охолоджуваної в парокompresорній холодильній машині (ПКХМ). При цьому зовнішнє повітря подають вентилятором спочатку в високотемпературний ступінь ПО_{ВТ}, де його температура знижується на величину $\Delta t_{\text{ПО.ВТ}} = 12 \dots 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а потім в низькотемпературний ступінь ПО_{НТ}, де воно охолоджується на

величину $\Delta t_{\text{ПО.HT}} = 5 \dots 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, і через вологовідділювач подається на вхід в ГД з температурою $8 \dots 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рис. 1 наведені поточні значення зниження температури припливного повітря $\Delta t_{\text{в}}$ в ПО, вологовмісту повітря на вході ПО $d_{\text{нв}}$, після високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} $d_{\text{в1}}$ і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} $d_{\text{в2}}$, питоме теплове навантаження високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} q_{01} , низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} q_{02} і всього ПО q_0 , зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході Δb_e і сумарне $\Sigma \Delta b_e$ з урахуванням витрат потужності, відповідно і палива, на подолання аеродинамічного опору ПО, а також Δb_{et} і сумарне $\Sigma \Delta b_{et}$ без урахування аеродинамічного опору ПО протягом доби 20.07.2009 р

Система зонального кондиціювання з двоступеневим охолодженням дозволяє ізолювати циклове повітря двигуна від повітря машинного відділення, що в свою чергу забезпечує збільшення глибини охолодження повітря і скорочення витрат холоду на кондиціювання припливного повітря за рахунок значного скорочення його витрати (від $60000 \text{ м}^3/\text{год}$ до $7500 \text{ м}^3/\text{год}$).

З рис. 1 видно, що глибина охолодження припливного повітря становить $\Delta t_{\text{в}} = 8 \dots 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Це свідчить про більш високу ефективність охолодження припливного повітря в порівнянні з базовим варіантом і стандартними системами кондиціювання повітря МВ.

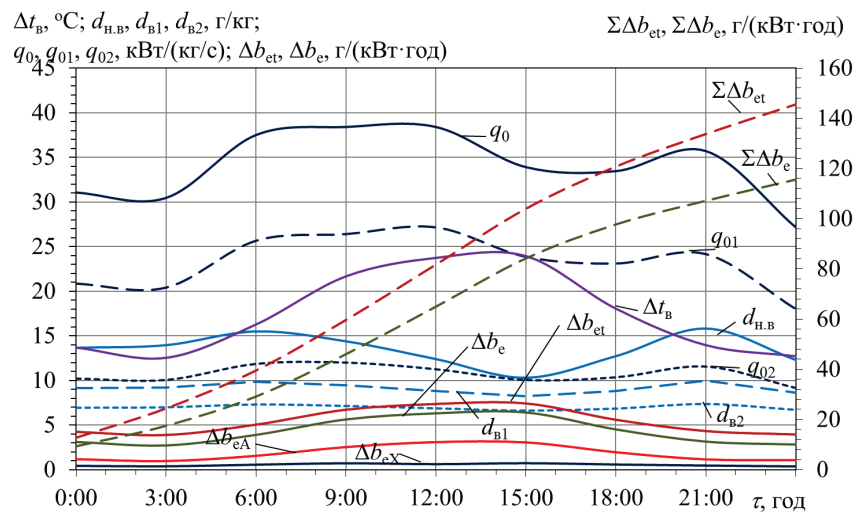


Рис. 1. Поточні значення зменшення температури зовнішнього повітря $\Delta t_{\text{в}}$ в ПО, вологовмісту повітря на вході ПО $d_{\text{нв}}$, вологовмісту після високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} $d_{\text{в1}}$ і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} $d_{\text{в2}}$; питомого теплового навантаження високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} q_{01} , низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} q_{02} і всього ПО q_0 ; поточне зменшення питомої витрати палива за рахунок охолодження повітря на вході Δb_e і сумарне $\Sigma \Delta b_e$ з урахуванням аеродинамічного опору ПО, а також Δb_{et} і сумарне $\Sigma \Delta b_{et}$ без урахування аеродинамічного опору ПО протягом доби 20.07.2009 р

Слід зазначити, що зональна система кондиціювання дозволяє також в разі необхідності використовувати в якості циклового повітря ГД зовнішнє неохолоджене повітря, яке подається ізольованим каналам на вхід ГД. Пряма подача зовнішнього повітря допустима, коли його температура $10...18^{\circ}\text{C}$ та у разі дефіциту холоду, через його витрати на технологічні потреби. При цьому передбачене часткове або повне байпасування повітроохолоджувачів. Байпасування дозволяє скоротити аеродинамічний опір на величину $\Delta P = 280 \dots 490 \text{ Па}$, зменшуючи тим самим споживання електроенергії вентилятором на $20 \dots 25 \%$.

Висновки

Проаналізовано ефективність глибокого охолодження припливного повітря МВ автономної теплоелектростанції. Показано, що двоступенева охолодження припливного повітря холодною водою спочатку від АБХМ, а потім від ПКХМ з температурою відповідно 7 і 4°C забезпечує в $1,4 \dots 1,5$ рази більше зниження температури повітря в порівнянні з традиційним охолодженням водою від АБХМ.

Література:

1. Трушляков, Є. І. Підвищення ефективності систем кондиціювання повітря шляхом розподілу теплового навантаження за ступеневим принципом [Текст] / Є. І. Трушляков, М. І. Радченко, А. М. Радченко, С. Г. Фордуй, С. А. Кантор, В. С. Ткаченко, Б. С. Портной // Авиационно-космическая техника и технология. – 2019. – № 8 (160). – С. 49–<https://doi.org/10.32620/aktt.2019.8.07>
2. Радченко А.М., Грич, А.В., Портной Б.С. Ступенчатое охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции //Холодильна техніка та технологія, Одеса, ОНАХТ. – 2016. – Т. 51, Вип. 1. – С. 71-7.
3. Радченко А.М., Грич А.В. Охлаждения приточного воздуха машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки//Холодильна техніка та технологія. Одеса, ОНАХТ,- 2014. – № 6. – С. 20-25.
4. Радченко Р.М., Грич А.В. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двигателей тригенерационной установки//Авиационно-космическая техника и технология, Харків, –2014. – № 6. – С. 103–107
5. Радченко М.І., Бохдаль Л., Грич А.В., Єсин І.П. Повышение эффективности системы оборотного охлаждения газопоршневого двигателя //Авиационно-космическая техника и технология, Харків, ХАІ – 2015. – № 4 (121). – 113 с. С. 103–107.
6. Радченко Н.И., Бохдаль Л., Грич А.В., Есин И.П. Повышение эффективности системы оборотного охлаждения газопоршневого двигателя [Текст] / Н.И. Радченко , Л.Бохдаль, А.В. Грич, И.П. Есин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 4 (121). – 113 с. С. 103–107.

7. Радченко А. Н., Зубарев А. А., Остапенко А. В., Грич А. В. Повышение эффективности утилизации теплоты газового двигателя ступенчатой трансформацией [Текст] / А. Н. Радченко, А. А. Зубарев, А. В. Остапенко, А. В. Грич // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2018. – № 6 (150). – 113 с. С. 39–43.

INFLUENCE OF TWO-STAGE AIR CONDITIONING ON THE EFFICIENCY OF GAS ENGINES OF INTEGRATED THERMAL POWER PLANT

Hrych Artem Ph.D., Ostapenko Oleksii, Ph.D.

Department of Air Conditioning and Refrigeration

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The analysis of cooling air supply efficiency of the engine room of gas engines of the integrated thermal power plant is performed. The system of two-stage air cooling with the use of absorption refrigeration machine and zonal air supply is considered. Methods of processing their supply air of the engine room, providing its deep cooling, are offered.

Key words: cooling, air conditioning system, engine room, gas engine, air cooler.

УДК 621.4

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ СОД ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВОДНЮ В ЯКОСТІ ПАЛИВА

Грубий М.А., Коштовний В.П.

магістранти енерготехнічного факультету

Херсонська філія Національного університету кораблебудування

ім. адм. Макарова м. Херсон, Україна

Анотація. Водень як моторне паливо відрізняється від більшості використовуваних сьогодні видів палив як рідких так і газоподібних. Водень володіє найвищим значенням нижчої питомої теплоти згорання на одиницю маси (120 МДж/кг), але при зовнішньому сумішоутворення поступається бензоповітряній або метано-повітряній суміші в теплоті згорання на одиницю об'єму. У випадку з воднем існує можливість якісно регулювати робочий процес у всьому діапазоні температур завдяки широким меж значень температури займання. Перевагою водню є його здатність горіти в складі гомогенної суміші з повітрям при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 10$, споживаючи при цьому менше енергії для займання. Як недолік водню варто відзначити його порівняно високу температуру самозаймання, що ускладнює його використання у вигляді моторного палива в дизелях.

Ключові слова: двигун, водень, теплота згорання, альтернативне палива.

Під час енергетичної кризи 70-х років минулого століття вперше було порушено питання обмеженості запасів нафти і пов'язані з ними перспективи розвитку поршневого двигуна, як основного споживачів вуглеводневого палива. Саме в той час вперше зайшла мова про поршневі двигуни, що працюють на альтернативних паливах.

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

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.

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.

Наприклад, найпростішим способом отримання водню є електроліз води. Результатом такого процесу є суміш водню і кисню. Недолік способу – висока енергоємність. Для отримання 1 м³ водню необхідно витратити 4 кВт енергії, коли 1 м³ водню може віддати лише 1,8 кВт в паливному елементі. Незважаючи на це, електроліз є перспективним напрямком.

Також існує думка, що в відпрацьованих газах (ВГ) двигуна, що працює на водні, присутній тільки вода, і такий двигун абсолютно нешкідливий з екологічної точки зору. Це не так. Водень дійсно є найбільш екологічним з відомих видів палива, але разом з цим відбувається істотне збільшення емісії оксидів азоту термічного походження в ВГ. Причиною такого збільшення служить підвищення температури циклу і швидкості згоряння.

При використанні водню в якості палива для газодизельного циклу важливу роль відіграє організація процесу згоряння та підбір коефіцієнтів. Для налаштування математичної моделі в середовищі Дизель-Рк показники водню уточнюються у показнику згоряння m , критерії Вібе та Вошні, а також коефіцієнті надлишку повітря.

На сьогоднішній день важливу роль відіграють наявність системи рециркуляції відпрацьованих газів для зниження викидів оксидів азоту NO_x.

При використанні водню в дизельних двигунах типу 6L16/24 необхідно коригувати значення коефіцієнта надлишку повітря та кута випередження запалення для організації процесу згоряння водню, заданих значень потужності та не перевищення викидів NO_x.

На рис. 1-3 приведено індикаторні діаграми при використанні дизельного палива (рис. 1), при використанні водню без налаштування паливної апаратури (рис. 2) та

індикаторної діаграми при роботі на водні зі зміною α та кута випередження впорскування палива (рис. 3).

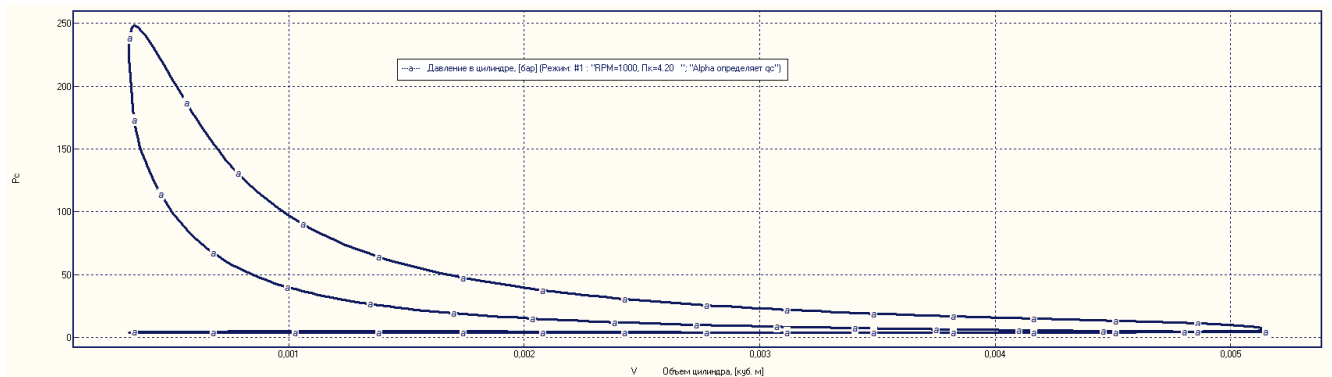


Рисунок 1 Індикаторна діаграма при роботі на дизельному паливі

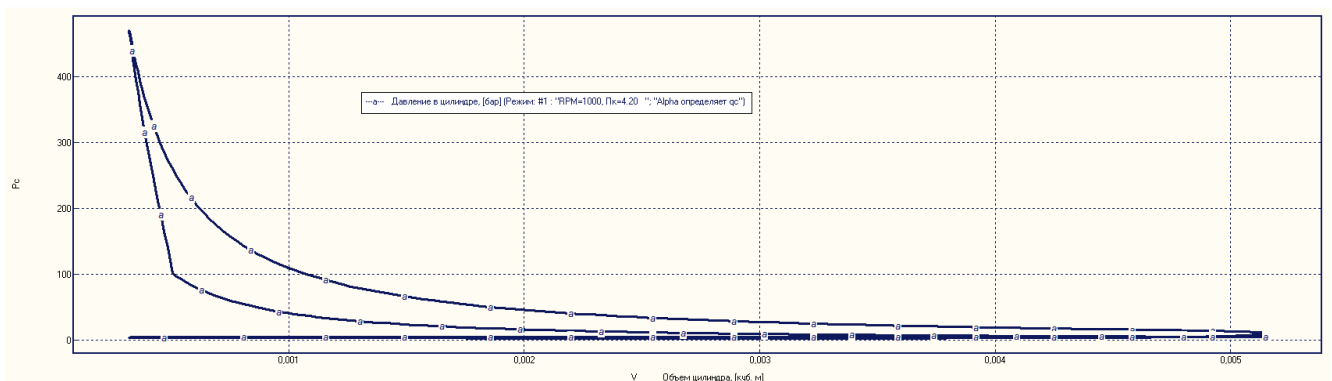


Рисунок 2. Індикаторна діаграма при роботі на водні

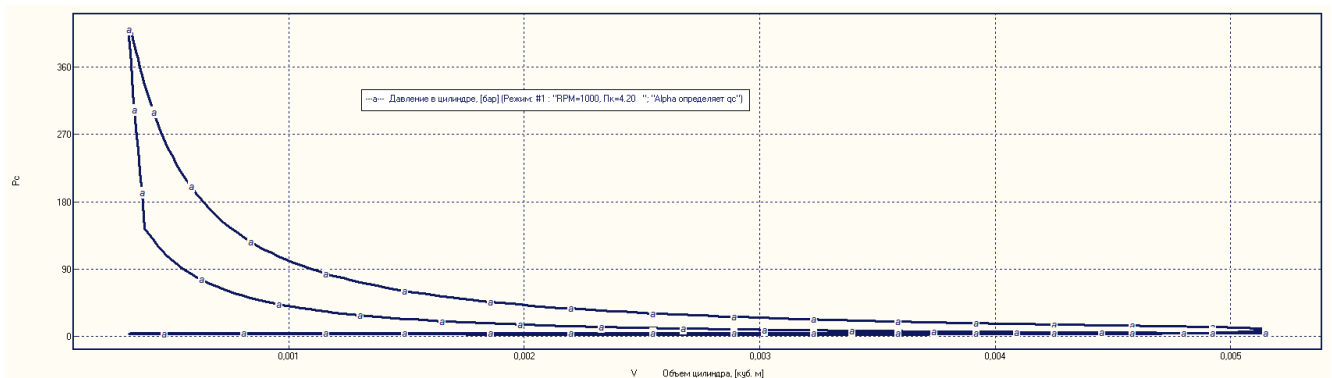


Рисунок 3. Індикаторна діаграма при роботі на водні після оптимізації

На рис. 4 приведено результати моделювання роботи двигуна при використанні водню з коригуванням значень кута випередження впорскування та коефіцієнта надлишку повітря α .

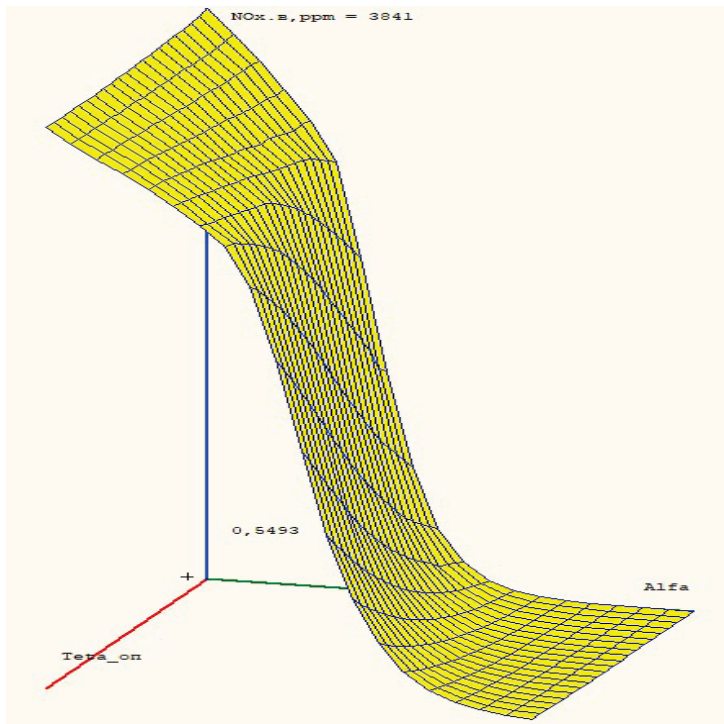


Рисунок 4. Результати моделювання параметрів α та $\varphi_{\text{вип}}$ щодо викидів NOx

Висновок

Проведено моделювання роботи двигуна при використанні водню, отримано значення параметрів робочого процесу ДВЗ та визначено раціональні значення коефіцієнта надлишку повітря α та кута випередження впорскування $\varphi_{\text{вип}}$. Так значення α лежать в межах 1,5...2,0, $\varphi_{\text{вип}} = 1 \dots 5$ п.к.в.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Галышев Ю.В. Конвертирование рабочего процесса транспортных ДВС на природный газ и водород: дис. ... д-ра тех. наук. СПб.: СПбГПУ, 2010. 364 с.
2. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе. Ч. 1. № 6 (12). 2009. С. 59-65; ч. 2. № 1 (13). 2010. С. 74-80.
3. Галышев Ю.В. Расчетный анализ ограничений и перспективных решений при создании водородных двигателей // Изв. РАН. Энергетика. 2006. № 5. С. 165-171.

IMPROVEMENT OF VESSEL SODS INDICES WHEN HYDROGEN IS USED AS FUEL

Grubiy MA, Koshtovnyiy VP

undergraduates of the Faculty of Energy Engineering
Kherson branch of the National University of Shipbuilding
them. adm. Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. Hydrogen as a motor fuel differs from most types of fuels used today, both liquid and gaseous. Hydrogen has the highest value of the lower specific heat of combustion per unit mass (120 MJ / kg), but in external mixing is inferior to gasoline or methane-air mixture in the heat of combustion per unit volume. In the case of hydrogen, it is possible to qualitatively regulate the working process in the entire temperature

range due to the wide range of values of the ignition temperature. The advantage of hydrogen is its ability to burn in a homogeneous mixture with air at a coefficient of excess air $\alpha = 10$, while consuming less energy for ignition. As a lack of hydrogen it is worth noting its relatively high autoignition temperature, which complicates its use as a motor fuel in diesels.

Key words: engine, hydrogen, heat of combustion, alternative fuels.

УДК 621.57

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОТЫ ГОЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ В ХОЛОД ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭХМ И АБХМ

Остапенко А.В.,

канд.тех.наук.,

Грич А.В.

канд.тех.наук

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Украина, Николаев

0000-0001-7343-6743, 0000-0002-2142-3665

Аннотация. Выполнен анализ существующей системы трансформации сбросной теплоты ГД в холод. Установлены значительные потери тепла. Предложена ступенчатая абсорбционно-эжекторная система, использование которой дает сокращение потерь теплоты и прирост холодопроизводительности системы до 18% при тепловом коэффициенте ЭХМ равным 0,4

Ключевые слова: тригенерация, абсорбционная холодильная машина, эжекторная холодильная машина, утилизация теплоты.

Введение

В русле общемировой тенденции децентрализации энергоснабжения все большее распространение получают установки автономного электро-, тепло- и холодоснабжения, в которых сбросная теплота приводных двигателей электрогенераторов трансформируется в холод теплоиспользующими холодильными машинами, а холод используется на технологические нужды и кондиционирования воздуха различных объектов. Особенно перспективным является применение для привода электрогенераторов газопоршневых двигателей, выпускаемых в когенерационных исполнении – со штатными теплообменниками, в которых сбросная теплота отводится на нагрев воды (теплоносителя), теплота которого в свою очередь трансформируется в холод абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной.

Основная часть

В соответствии с существующей схемой при температуре теплоносителя, получаемого на выходе из когенерационного модуля, равной 90°C, снижение температуры теплоноси-

теля в АБХМ обычно составляет не более $\Delta t = 15^\circ\text{C}$, а реально даже несколько меньше, что не позволяет охлаждать теплоноситель до температуры на входе в ГД $t = 70^\circ\text{C}$, обеспечивающей поддержание теплового состояния ГД на требуемом уровне, и вызывает необходимость сбрасывать избыточную теплоту в атмосферу градирней аварийного сброса. Из-за соответствующих потерь теплоты тепловые коэффициенты системы утилизации теплоты ГД оказываются значительно ниже тепловых коэффициентов собственно АБХМ, что обуславливает существенное снижение холодопроизводительности.

Решение задачи повышения эффективности трансформации теплоты газового двигателя в холод рассматривалось на примере установки автономного электро-, тепло- и холодообеспечения завода ООО "Сандора"—"Pepsico Ukraine" (г. Николаев, Украина). Установка включает два когенерационных газовых двигателя JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), в котором теплота выпускных газов, наддувочной газозоудушной смеси, охлаждающей рубашку двигателя воды и смазочного масла используется для нагрева воды. Теплота горячей воды трансформируется абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной AR-D500L2 Century в холод (холодильная мощность 2000 кВт), который расходуется на технологические нужды и для работы центральных кондиционеров, обеспечивающих охлаждение воздуха в машинном отделении (рис.1).

Целью работы является исключение указанных потерь тепла. Для этого было предложено использовать в системе утилизации дополнительную теплоиспользующую эжекторную холодильную машину. Эжекторные ХМ отличаются простотой конструкции, но их эффективность работы очень сильно зависит от температуры теплоносителя на входе. Незначительное падение температуры теплоносителя приводит к значительному падению теплового коэффициента ЭХМ, по сравнению с АБХМ. Поэтому эжекторную ступень предложено использовать перед АБХМ чтоб сработать в генераторе ЭХМ высокопотенциальное тепло теплоносителя.

Согласно предложенной схемы (рис.1) тепло теплоносителя с температурой 90°C используется в испарительной части генератора ЭХМ. Затем со сниженной до 85°C температурой теплоноситель подаётся в АБХМ в результате чего на выходе из АБХМ получают теплоноситель с температурой $\approx 72^\circ\text{C}$. Для соблюдения условия поддержания температуры обратного теплоносителя на входе в газопоршневой двигатель не выше 70°C , оставшаяся часть избыточного тепла теплоносителя отводится в экономайзерной части генератора ЭХМ для промежуточного нагрева жидкости перед испарительной частью генератора.

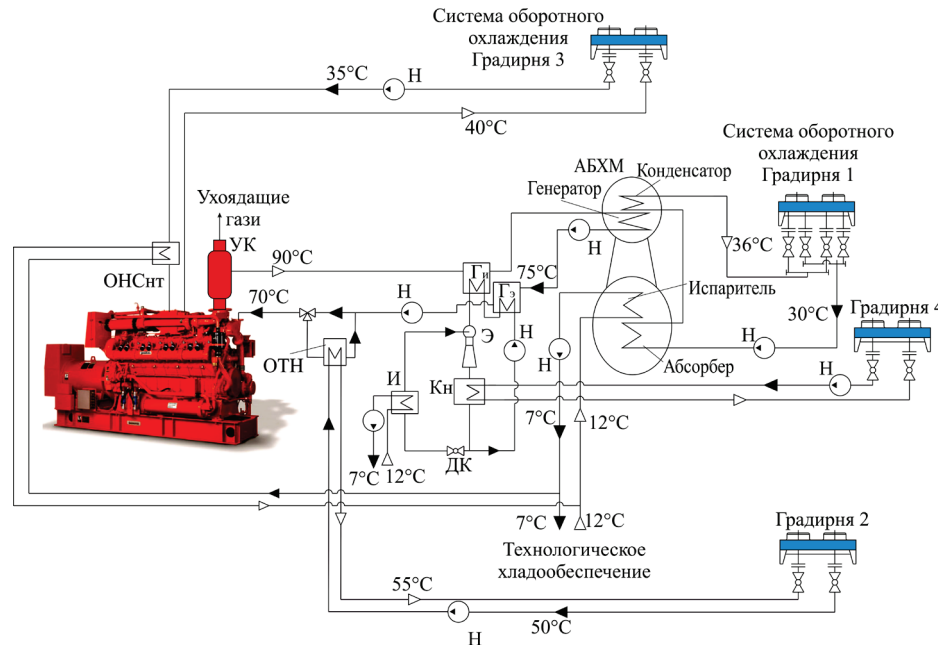


Рис.1 Схема предложенной ступенчатой системы трансформации сбросного тепла ГПД в холод в ЭХМ и АБХМ: УК – утилизационный котел; Г_и, Г_э – генераторная и экономайзерная секции ЭХМ; ДК – дроссельный клапан; Кн – конденсатор; И – испаритель; Э – эжектор; градирня 2 – аварийного сброса тепла; ОН – охладитель теплоносителя; ОНС_{нт} – охладитель надувочной смеси; Н – насос

Для предложенной схемы были рассчитаны общая холодопроизводительность, а также ее составляющих – холодопроизводительности ЭХМ и АБХМ. При этом было установлено что, из-за использования части теплоты теплоносителя в генераторной секции ЭХМ перед АБХМ, и как результат снижение его температуры, наблюдается снижение количества теплоты использованного в АБХМ предложенной схемы и трансформированного в холод. Но за счет дополнительного холода, получаемого в ЭХМ, общая холодопроизводительность немного возрастает.

Для предложенной схемы системы трансформации сбросного тепла ГД в холод были проведены расчеты прироста холодопроизводительности при различных тепловых коэффициентах ЭХМ. Было установлено что использование ЭХМ в предложенной схеме системы трансформации сбросного тепла ГД в холод целесообразно при ее тепловом коэффициенте 0,15 и выше. Так как при тепловом коэффициенте ЭХМ 0,14 не будет прироста холодопроизводительности по сравнению с базовой схемой системы.

Выводы:

Путем трансформации избыточной теплоты, обычно сбрасываемой в атмосферу, в холод в ЭХМ можно увеличить холодопроизводительность установки автономного электро-, тепло- и холодоснабжения, при возможности эксплуатации ЭХМ с повышенным тепловым коэффициентом. При этом при значении теплового коэффициента ЭХМ $\zeta=0,4$ можно достиг-

нуть 18% прироста холодопроизводительности системы по сравнению с базовым ее значением.

REFERENCES

- [1] Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.
- [2] Elsenbruch T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications / T. Elsenbruch [статья]. – București, October 28, 2010. – 73 p.
- [3] GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype/ G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WASTE HEAT TRANSFORMATION OF THE GAS ENGINE TO THE COLD BY USING STAGED TRANSFORMATION IN EJECTOR AND ABSORPTION LI-BR CHILLERS.

Ostapenko Oleksii., Hrych Artem.

Abstract. The analysis of the existing system of transformation of waste heat of gas engine to the cold. Established significant heat loss. A staged absorption-ejector system has been proposed, the use of which results in a reduction in heat loss and an increase in the cooling capacity of the system to 18% with an ejector chiller thermal coefficient equal to 0.4

Keywords: trigeneration, absorption chiller, ejector chiller, heat recovery.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕПЛОТИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА В ХОЛОД ВИКОРИСТАННЯМ СТУПІНЧАСТОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕХМ І АБХМ

Остапенко О.В., Грич А.В.

Анотація. Виконано аналіз існуючої системи трансформації скидний теплоти ГД в холод. Встановлено значні втрати тепла. Запропоновано ступінчаста абсорбційно-ежекторна система, іспользоваоніє якої дає скорочення втрат теплоти і приріст холодопроизводительности системи до 18% при тепловому коефіцієнті ЕХМ рівним 0,2.

Ключові слова: тригенерація, абсорбційна холодильна машина, ежекторна холодильна машина, утилізація теплоти.

UDC 539.3

GAS TURBINE ENGINE ROTORS FORCED VIBRATION UNDER THE NON-STATIONARY REAL GAS FLOW LOAD STUDY

Serhii Morhun

PhD (Tech),

*Associate Professor of the Engineering mechanics and technology of machinebuilding Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding*

Mykolaiv, Ukraine

serhii.morhun@nuos.edu.ua

Abstract. The method of the highly loaded gas turbine non-cooled impeller with damping links vibration research is described. Using the finite element method, a refined mathematical model was developed for the impeller's section, consisting of a disk sector and a bandaged blade. The developed mathematical model takes into consideration the structural heterogeneity of the blade itself and the disk. The results of the impeller vibration frequencies calculation, caused by the influence of non-stationary gas flow, can be used for the rotor stress-strain state calculation.

Key words: gas turbine rotor, impeller, forced vibration, vibration frequency, non-stationary gas flow.

The development of a set of measures for the gas turbines reliability increase is not feasible without a detailed study of vibration processes occurring in such critical details as impellers, influenced by non-stationary gas-dynamic forces of high temperature. However, as follows from the above analysis of recent research on this topic, some important aspects remain insufficiently illuminated, therefore, it is necessary to develop a refined mathematical model of the impeller forced vibration. It is also necessary to take into consideration the significant constructional heterogeneity of the impellers cooled blades. Therefore, the aim of this work is to develop a refined mathematical model of the marine gas turbine cooled impeller with damping links, based on the usage of finite elements method. Full description of the finite elements that are suitable for the impeller correct modeling is given in the works [1 – 8]

The task of the gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies determining is given. It is also assumed that the considered system of solid bodies (impeller) has the properties of cyclic symmetry. So it can be interpreted as a set of h subsystems (sections) with the same geometric, inertial and stiffness properties [7]

The finite element model of an impeller blade was built on the basis of superparametric curvilinear finite elements. Each of them consisted of 20 nodes with 5 degrees of freedom in every node. The damper links, connecting the blades in a unity were modeled using a rod finite element. The disk model included 230 first-order hexagonal finite elements with 1254 degrees of freedom totally [9].

In order to study the practical suitability of the developed mathematical model, calculations of the second stage gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies are calculated. As it is well-known, for the marine gas turbine engines there are two main constructional types of the impellers: an impeller with a disk having a central shaft hole and with a solid disk. The heterogeneity of the gas flow, which is the main source of the impeller forced vibration, was set by the deviation of the nozzle vanes installation angle from its nominal value. Also the unevenness of the twist angle along the blades height was taken into consideration. In addition, damping was taken into account at the points of contact between the blades, the blades and the disk and the blades and damper links.

References.

1. *Samaras C.* Emissions and lifetime estimation modeling of industrial gas turbines. / C. Samaras // M. Sc. Progress Review, Cranfield University, UK, 2009. P. 30–35.
2. *Krishnakanth P. V.* Structural and Thermal Analysis of Gas Turbine Blade by using FEM / P. V. Krishnakanth, G. Narasa Raju et. al. // International Journal of Scientific Research Engineering and Technology. 2013 Vol. 2, Issue 2. P. 060–065.
3. *Mrinaline M.* Steady state structural analysis of single crystal turbine blade / M. Mrinaline // International Journal of Engineering Research and Technology. 2016. Vol. V5, Issue 10. P. 382–384. doi: 10.17577/ijertv5is100314
4. *Rzadkowski R.* Unsteady forces acting on the rotor blades in the turbine stage in 3D viscous flow in nominal and off-design regimes / R. Rzadkowski, V. Gnesin, L. Kolodyazhnaya // Journal of Vibration Engineering, and Technologies. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 89–95.
5. *Postnov V.V.* Theoretical and experimental stress-strain analysis of machining gas turbine engine parts made of the high energy structural efficiency alloy / V. V. Postnov, S. V. Starovoitov, S. Yu. Fomin, R. R. Basharov // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2014. Vol. 7, Issue 5. P. 47–50.
6. *Sosunov V.A.* The theory, calculation and design of the aircraft engines / V. A. Sosunov, V. M. Chepkin // Moscow: Mosk.energ. in-t., 2003. 677 p.
7. *Pyhalov A.A.* Static and dynamic analysis of the turbine rotors assemblies / A. A. Pyhalov, A. E. Milov // Irkutsk: Izd-vo Irkut. tekhn. un-ta, 2007. 194 p.
8. *Morgun S.* The blades constructions finite elements models development / S. Morgun // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New Solutions in Modern Technologies. 2016. Issue 42 (1214). P. 86–91. doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.14
9. *Morhun S.* The influence of the blade feather constructional inhomogeneity on the turbine cooling blades stress-strain state // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series: Applied Mechanics. 2018. Issue 2/7 (92). P. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.125937. 190

УДК 699.86

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕАЕРАТОРІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ КОТЕЛЬНИ ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЮ 4,2 МВт

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

mukola.semenov@nuos.edu.ua

Шаповалов Ю.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

yuriy_shapovalov_2011@ukr.net

Костенко В.А.

*студент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Для розробки технологій низькотемпературної дегазації підживлювальної води тепломережі і додаткової живильної води котлів розглянуті патенти деаераторів. Наведено результати досліджень. Підібрана найбільш ефективна конструкція деаератора.

Ключові слова: вакуумний деаератор, деаерація, дегазація рідини.

На енергетичну ефективність ТЕЦ істотний вплив роблять технології деаерації води. Якісна протикорозійний обробка технологічних потоків води при мінімально можливій температурі деаерації призводить до підвищення енергетичної ефективності теплофікаційних турбоустановок і, як наслідок, підвищенню економічності роботи всієї теплової електричної станції. [1] Саме цим обумовлений вибір теми дослідження.

У роботі розглянуті наступні патенти деаераторів:

А. с. СССР, № 992430. Деаератор містить установлені на баці-акумуляторі циліндричні колонки, кожна з яких має патрубок підведення води. Деаератор постачений сепараційним відсіком, що утворений установленими між колонками вертикальними перегородками. Недоліком даного деаератора є те, що він відносно складний і дорогий для побутових опалювальних систем.

Патент RU, № 2227123. Вакуумний деаератор містить корпус із патрубком для підведення води на деаерацію і патрубок для відведення деаерованої води. Крім того, на корпусі є патрубок для відводу пароповітряної суміші. Усередині корпуса розташований водорозподільник вихідної перегрітої води. Зазначений деаератор працює при вакуумі. Для створення вакууму необхідно додаткове вакуумне устаткування.

Патент RU, № 2246446. Відцентровий деаератор включає трубу із прямою і вигнутою ділянками. У середині прямої ділянки розташоване порожнє тіло обертання із завихрувачем, у вигляді шнека та випар зі спрямляючими лопатками. Даний пристрій працює під надлишковим тиском і не забезпечує, застосовуваними ущільненнями утримання виходу пари та повітря в навколишнє середовище.

Патент RU, №2314262. Термічний деаератор включає деаераторний бак з деаераторної колонкою з розміщеним у ній низьконапірним водорозподільним пристроєм зі струминною форсункою і штуцером підведення води. До того ж, за форсункою розташована друга форсунка, отвір якої, менший від отвору першої форсунки. Для відділення повітря на такому деаeratorі необхідна температура робочого середовища близька до пароутворення. В основу винаходу поставлено задачу збільшення ефективності дегазації рідини при одночасному зниженні газового навантаження на систему вакуумування шляхом зміни послідовності гідравлічних і масообмінних процесів. Підвищення ефективності дегазації рідини в пристрої, що заявляється, у порівнянні з прототипом досягається за рахунок зниження опору масопередачі в газовій фазі шляхом просторового зближення зон випару і конденсації, а також шляхом збільшення градієнта тиску і температури в робочій зоні дегазатора Крім того, додатковий позитивний ефект досягається завдяки однонаправленості процесів переносу пари і газу, що приводить до підвищення ступеня дегазації рідини та ступені сорбції газу. Крім того, застосування пристрою, що заявляється, дозволяє знизити газове навантаження на систему вакуумування дегазатора, що дозволить знизити енергоспоживання.

Після аналізу конструкцій деаераторів було обрано деаератор на основі патенту UA 81946.

На рис. 1 зображено заявлений вакуумний деаератор у перерізі. Вакуумний деаератор складається з корпусу 1, у середині якого розміщені відсік нагрівання 2 з патрубком 3 подавання води, яка підлягає деаерації та патрубком 4 відведення парогазової суміші, відсік перегріву 5 з патрубком 6 подавання теплоносія і відсік розширення 7 з патрубком 8 відведення деаерованої води.

Вакуумний деаератор функціонує наступним чином.

Вода, яка підлягає деаерації, подається через патрубок 3 у відсік нагрівання 2 і диспергується на струмені. Одночасно у відсік нагрівання 2 через патрубок 20 надходить парогазова суміш, яка нагріває воду. У процесі нагрівання відбувається її первинна деаерація, в результаті якої неконденсовані гази у складі парогазової суміші відводяться з відсіку нагрівання 2 через патрубок 4. З відсіку нагрівання 2 вода по каналу перетікання нагрітої води, утвореному стінкою корпусу 1 та вертикальною стінкою 11, надходить у відсік перегріву 5, де на ділянці безпробовального барботажу 12 нагрітої води піддається обробці теплоносієм,

який подається через патрубок 6. Неконденсовані гази, які виділяються в результаті безпробовального барботажу нагрітої води у відсіку нагрівання 5, надходять у складі парогазової суміші з відсіку перегріву 5 у відсік розширення 7 по трубі 19. З відсіку перегріву 5 вода, яка підлягає деаерації, надходить по каналу перетікання перегрітої води, утвореному вертикальною стінкою 17 та боковою стінкою корпусу 1, у відсік розширення 7. Далі, у відсіку 7 перегріта вода через зазор між вертикальною стінкою 17 та горизонтальною консольною поличкою 13, який веде у підйомний канал гідрозатвора, утворений горизонтальною консольною поличкою 13, вертикальною стінкою 17 і вертикальною перегородкою 14 ємність 15, потрапляє до перфорованого листа 18, диспергується на струмені і миттєво закипає, забезпечуючи інтенсивний барботаж в усьому об'ємі перегрітої води над перфорованим листом 18 та її глибоку деаерацію. Потім перегріта вода, проходячи над ємністю 15, у якій встановлена труба 16 для відведення теплоносія, піддається обробці теплоносієм, який, у свою чергу, проходить через перфорований лист 18 і забезпечує безпробовальний барботаж перегрітої води. Тиск, необхідний для перегріву та закипання води і забезпечення тривалої деаерації у відсіку розширення 7, створюють, підтримують і регулюють за рахунок подавання парогазової суміші по трубі 19 з відсіку перегріву 5 у відсік розширення 7 і відведення парогазової суміші з відсіку розширення 7 через трубу 20 у відсік нагрівання 2. Деаерована вода стікає на дно відсіку розширення 7, і її відводять через патрубок 8.

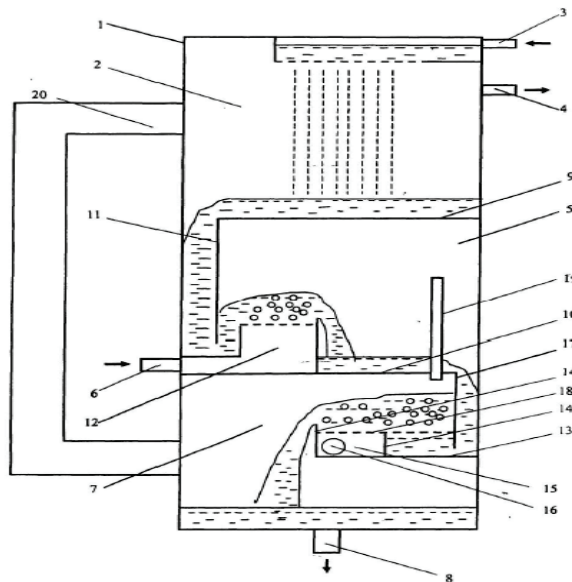


Рис. 1. Вакуумний деаератор за патентом UA 81946

Використання описаного вакуумного деаератора у порівнянні з відомими технічними рішеннями забезпечує глибоку деаерацію води, що дозволяє значно підвищити якість її очищення від газів.

RESEARCH OF DEAERATORS DURING MODERNIZATION OF A BOILER PLANT WITH A HEATING CAPACITY OF 4.2 MW

Kostenko Volodymyr, Semenov Mykola, Shapovalov Yuriy.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Annotation. For the development of technologies for low-temperature degassing of the heating system feed water and additional boiler feed water, patents of deaerators were considered. The research results are presented. Selected the most efficient deaerator design.

Key words: vacuum deaerator, deaeration, liquid degassing.

УДК 699.86

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛА ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ГОЛОВНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ НАСОСІВ АЕС

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

mukola.semenov@nuos.edu.ua

Шаповалов Ю.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

yuriy_shapovalov_2011@ukr.net

Дмитрієв Р.Ю.

*студент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Розглянуті сучасні засоби та устаткування для контролю металу трубопроводів АЕС. Зроблено їх аналіз. Для контролю стану трубопроводів запропоновано застосування методів діагностики на принципах нелінійної акустики.

Ключові слова: трубопроводи, контроль металу, ультразвуковий контроль, акустична голографія, низькочастотні електромагнітні поля нелінійна акустика.

Для энергоблоков типа ВВЕР пропонуються сучасні засоби телевізійного візуального контролю металу [1]: пристрій візуального контролю й технічного обслуговування "Скат" трубопроводів ДУ 500, ДУ 800 АЕС; пристрій оперативного візуального контролю й технічного обслуговування вертикальних і циліндричних поверхонь устаткування, "Телеробот"; телевізійна система "Шахта" контролю зовнішньої поверхні реактора; телевізійний

комплекс дистанційного візуального контролю (комплекс ДВК) за станом устаткування розміщеного в приміщеннях АЕС, що не обслуговуються.

МНПО "Спектр" розроблений і по теперішній час безперервний удосконалюються засоби металографічного аналізу SPECTR ПОЗНАЧОК. Комплекси SPECTR MET дозволяють безпосередньо на об'єкті оперативно проводити повний цикл металографічного контролю від підготовки поверхні та одержання зображення. Мобільні засоби металографічного аналізу SPECTR MET призначені для спостереження, реєстрації та кількісної оцінки структури безпосередньо на об'єкті. [2]:

Методика безразкового неруйнуючого контролю металу розроблена в НІКІМТ базується на спільному використанні методу кінетичної твердості, акустичної емісії та магнітного методу [3].

Використання даного приладового комплексу дозволило практично повністю перейти на безразкову технологію контролю механічних властивостей й, тим самим, відмовитися від вирізки ділянок трубопроводів, що у свою чергу виключило витрати на відновлювальні роботи із зварювання вставок.

У проекті РУ АЕС-2006 [3] розробленому АТ ОКБ "Гідропрес" в 2005-2007р., було передбачене використання комплексу систем дистанційного автоматизованого неруйнуючого контролю металу, що складає з 15 самостійних, незалежних систем контролю (СК), що забезпечують контроль усього основного встаткування.

Активні роботи з розвитку та застосування засобів ультразвукового контролю (УЗК) зварених з'єднань трубопроводів проводяться в ЦНПТМАШ [2]. Основними факторами, що обумовили ефективність методик УЗК ЦНПТМАШ є: використання поздовжніх хвиль (коливання часток у хвилі відбувається уздовж напрямку поширення); структура акустичного поля головної хвилі забезпечує оптимальне озвучування хвилею кореня шва; удалий вибір частоти ультразвуку та довжини хвилі; оптимальна конструкція перетворювача та схема УЗК, що забезпечило можливість відбудуватися від нерівностей у корені шва, не сприймати та не почувати зони з більшим зерном, проводити УЗК через зварений шов і виявляти тріщини при доступі з однієї сторони шва. При цьому перспективними виявилися підходи, що використовують і поперечні хвилі УЗК (МЦУ-5-99).

НПЦ "ЕХО+" розробив УЗ системи неруйнуючого контролю серії "Авгур", [2] у яких використовується когерентна обробка сигналів. Алгоритм обробки – багаточастотна, багаторакурсна акустична голографія – аналогічна методу FT-SAFT. При цьому використовуються амплітудні та фазові характеристики зареєстрованих УЗ поля. Дана технологія ультразвукового діагностування дозволяє: проводити моніторинг за розвитком дефектів у процесі експлуатації об'єктів; скласти базу даних про наявність у зварених швах різного роду при-

пустимих несплошностей (здійснити паспортизацію швів); здійснювати експлуатацію встановлення з "непрохідними" (за чинними нормами) дефектами завдяки можливості оцінки ресурсу роботи звареної конструкції по встановлених розмірах несплошностей і параметрам напруженого стану; значно підвищити надійність виявлення дефектів різного типу за рахунків більш високої чутливості контролю; мінімізувати як "недобракування", так й "перебракування" завдяки реєстрації всієї інформації про контроль і можливість детального аналізу її оператором в особливо складних і важливих випадках.

У рамках розвитку єдиної національної програми контролю металу на АЕС України в ОКБ ІЭС ім. Е. О. Патона (Київ) були створені два промислових зразки: комплекс НК193 для автоматизованого ультразвукового контролю кільцевих зварених швів трубопроводів головного циркуляційного насоса та комплекс НК300 для контролю звареного шва приварки обійми до стояка верхнього тракту технологічного каналу реактора [2]. Архітектура апаратного забезпечення обох комплексів ідентична та реалізована на базі однієї і тієї ж комп'ютерної техніки. При розробці комплексів була віддана перевага варіанту індустріальної робочої станції AWS850CT фірми Advantech, що має в одному захищеному корпусі системний блок, рідиннокристалічний дисплей і мембранну клавіатуру. Комплекс складається із двох частин: сканера з акустичним блоком, якій встановлено на об'єкті контролю, і індустріальної робочої станції із блоком керування та блоком генераторів і підсилювачів, які можуть бути розташовані на відстані до 60 м від об'єкта контролю. Таким чином, робота персоналу та основних компонентів системи відбувається в умовах зниженого радіаційного випромінювання. У процесі контролю сканер, рухаючись уздовж звареного шва, здійснює зворотно-поступальне переміщення блоку Уз-перетворювачів перпендикулярно звареному шву. Керування роботою сканера виконується за допомогою плати твердотільних реле PCLD786 Advantech.

При переміщенні сканера координатні датчики, установлені на валах двох двигунів постійного струму, видають серії імпульсів, які надходять на рахункові входи модуля вводу-виходу PCL720 Advantech. У кожен момент знімання інформації кількість накопичених імпульсів перетворюється в поточні координати блоку Уз-перетворювачів уздовж і поперек звареного шва та видається на екран дисплея. Під час руху сканера виробляється безперервний циклічний запуск та опитування всіх акустичних каналів.

Комплекси неруйнуючого контролю фірми "TesTex" (США), працюють на контролю низькочастотних електромагнітних полів. Особливістю даної системи є можливість сканування трубних систем по зовнішньої утворюючої кожної труби без ретельної підготовки поверхні. При цьому швидкість сканування становить 3 – 5 м/хв із можливістю оцінки стану внутрішньої поверхні труби на глибину до 19 мм по окружності. Система складається, зі

сканера (профільованого під необхідний діаметр труби) електронного блоку, що організує роботу системи та комп'ютера, що організує збір, подання, обробку, зберігання та тиражування інформації на магнітних і паперових носіях [2].

Метод діагностики на принципах нелінійної акустики НПС-ІПФРАН [2]. Методика вимірів полягає в наступному. Досліджуваний об'єкт збуджується на низькочастотній модуляції коливань частоти W . Одночасно, за допомогою п'єзоперетворювача, у нього випромінюється послідовність ультразвукових імпульсів, що мають частоту повторення f_0 і несучу частоту f . Ультразвукові імпульси, відбиті від різних дефектів зразка, приймаються та стробируються по дальності. При фіксованому положенні стробируючого імпульсу виробляється спектральний аналіз відстробированого сигналу за час, що відповідає декільком періодам частоти W . Таким чином, завдання візуалізації тріщини зводиться до визначення наявності та рівня модуляції частоти Q у стробированих з і побудови залежності "дальність – рівень модуляції частоти Q ".

При установці датчиків на відстанях до декількох метрів на звареному шві або поблизу його можна виявляти небезпечні одиночні тріщини або їхні скупчення та визначати відстань до найближчої мікротріщини. Використовуючи ефекти нелінійної акустики, реалізований метод дозволяє виявляти мікротріщини поза залежністю від їхнього місця та орієнтації: тріщини на зовнішній і недоступній поверхні, орієнтовані уздовж і поперек осі розшарування та мікротріщини в товщі шва або основного металу. Рівень низькочастотного порушення повинен бути достатнім для того, щоб у процесі коливань об'єкта змінювалися акустичні характеристики тріщини. Метод діагностики на принципах нелінійної акустики селективний стосовно небезпечних тріщин і дозволяє в режимі моніторингу одержати нову важливу якість – вимір швидкості росту стрес-корозійних тріщин – необхідна умова для достовірного визначення залишкового ресурсу трубопроводів і металоконструкцій

Виконаний аналіз існуючих і перспективних методів дистанційного неруйнуючого контролю металу трубопроводів. Пропонується застосувати для контролю стану трубопроводів циркуляційного контуру метод діагностики на принципах нелінійної акустики.

Література:

1. Петин С. В. Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов [Текст]/ С. В. Петин, Сидоренко В.Г. // «Молодой учёный» . № 2 (106) . Январь, 2016 г. – с. 194 – 199.
2. Развитие и оптимизация систем контроля атомных электростанций с ВВЭР: монография/ В.И. Скалозубов, Д.В. Билей, Т.В. Габлая, и др. ; под ред. В. И. Скалозубова ; НАН

Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев, обл.) : – Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 512 с.

3. Хмара Д. Эксплуатация ядерных энергоблоков в сверхпроектный срок. Мировая практика и особенности процесса в Украине http://atom.org.ua/wp-content/lifetime_extension_rus.pdf

RESEARCH OF METHODS OF OPERATIONAL CONTROL OF PIPELINE METAL DURING THE MODERNIZATION OF THE SYSTEMS OF THE MAIN CIRCULATION PUMPS OF NUCLEAR POWER PLANTS

Semenov Mykola, Shapovalov Yuriy, Dmitriev Roman.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Annotation. Modern means and equipment for monitoring the metal of NPP pipelines are considered. They are analyzed. To control the state of pipelines, it is proposed to use diagnostic methods based on the principles of nonlinear acoustics.

Key words: pipelines, metal testing, ultrasonic testing, acoustic holography, low-frequency electromagnetic fields, nonlinear acoustics.

Секція № 3. ЕНЕРГООЩАДНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 621.91

ЗМІЦНЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

Боду С.Ж.

*старший викладач кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
svetlana.baudoux@gmail.com*

Чікал М.А.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
chikal.mikhail@gmail.com*

Анотація. Показані переваги зміцнення поверхнево-пластичним деформуванням порівняно з традиційними термічними способами. Обробка здійснюється протягуванням комбінованою протяжкою з деформуючими зубцями. Представлена технологія забезпечує одночасну обробку, калібрування та зміцнення внутрішніх шліцевих поверхонь малого діаметру.

Ключові слова: протягування, поверхнево-пластичне деформування, шорсткість, калібрування, шліцеві елементи.

Шліцеві з'єднання широко застосовуються в сучасних машинах і механізмах, що пояснюється здатністю передавати великі крутні моменти і забезпечувати високу точність центрування зубчастих коліс, шестерень та втулок відносно валу.

Традиційна технологія виготовлення складається з етапу формування шліців у «сирому» матеріалі з подальшою зміцнювальною обробкою (об'ємне загартування, поверхневе загартування, цементация, азотування і т. ін.).

Присутність термічних та хіміко-термічних операцій значно ускладнюють та здорожують процес виготовлення деталей. З'являється значний розрив у часі, пов'язаний з транспортуванням і обробкою деталей, та великий обсяг ручних робіт: завантаження, розвантаження, маркування, контроль розмірів деталей як перед обробкою, так і після неї. Після термічної або хіміко-термічної обробки обов'язкова операція видалення окалини, що проводиться методом піскоструминної обробки, яка погіршує санітарно-гігієнічні умови праці. Все це значно підвищує трудомісткість виготовлення деталі і приводить до значного зростання тривалості технологічного циклу (до 10...15 діб при трудомісткості механічної обробки 1...3 нормогодин).

Крім того, такі операції завжди супроводжуються втратою точності внаслідок дії залишкових напруг, короблення, деформації та «розбухання» деталей. Для відновлення показників якості поверхонь призначаються чистові операції. Традиційно в таких випадках застосовуються операції шліфування, але велику частку номенклатури складають деталі з внутрішнім діаметром отворів близько 20 ... 80 мм, що робить шліфування зовнішнього діаметра або бічних поверхонь шліців майже неможливим (приклад такої деталі показаний на рис. 1). Повторне протягування нераціональне через невисоку стійкість лезового інструменту при роботі по загартованих шарах з окалиною.

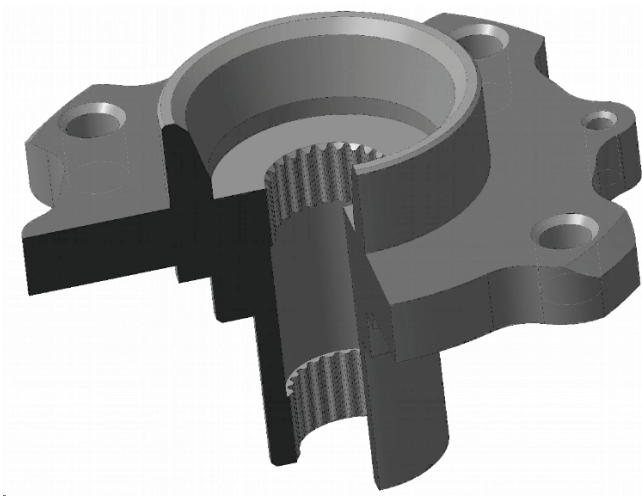


Рис. 1. Маточина колеса з внутрішніми шліцьовими елементами

Дедалі більшого розвитку отримують різні методи зміцнення поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

Поверхневий шар при обробці деталей ППД формується в результаті складних взаємопов'язаних явищ, що відбуваються в осередку деформування і прилеглих до нього зонах: пружних і пластичних деформацій, зміни міцності і пластичних властивостей деформованого металу, тертя і теплових процесів, зміни мікро- і макроструктури, мікрогеометрії самої поверхні і ін.

Еволюція твердості при такій обробці визначається декількома параметрами – оброблюваним матеріалом, зусиллям деформування, способом його прикладення і т. ін. Наприклад, при алмазному вигладжуванні корозійностійкої сталі і алюмінієвого сплаву на оптимальних режимах межа міцності матеріалу зміцненого поверхневого шару збільшується до двох разів. В дослідженнях [1, 2] приведені дані щодо приросту твердості на 250 МПа при глибині зміцнення 3 мм, мікротвердості на 150-180 HV при товщині шару 0,8 мм. Окремо слід відмітити, що зменшення твердості до серцевини відбувається поступове, що також є позитивним фактором з точки зору забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь. Також відмічається утворення стискаючих залишкових напружень, що також позитивно позначається на працездатності сполучень. Таким чином, ППД в багатьох випадках успішно замінює термічну обробку.

З точки зору підвищення точності ППД також цілком може замінити калібрувальні методи обробки. Наприклад, дослідження [3] показали, що дорнування стабільно забезпечує точність 6-7-го квалітету, а в ряді випадків 5-го квалітету при шорсткості оброблюваних поверхонь $Ra = 0,63 \dots 0,10$ мкм).

Реалізувати ППД шліцьового отвору можна, наприклад, за допомогою складеної комбінованої протяжки, останній ряд зубів якої – калібрувально-зміцнювальний, зі специфічною будовою і по зовнішньому діаметру, і по боковим поверхням. Вони мають забірний і зворотній конуси для плавного входу, калібрувальну стрічку на бокових поверхнях і зовнішньому діаметрі.

Обробка подібним інструментом може повністю замінити термічну або хіміко-термічну обробку, чи використовуватись для калібрування після термообробки. В такому випадку може використовуватись лише калібрувальна частина, закріплена в оправку з направляючими, які будуть базувати її відносно осі отвору і вже оброблених шліців.

При такому способі калібрування розрахунок протягування потребує коригування для того, щоб врахувати радіальне зміщення матеріалу при пластичній деформації. Також необхідно передбачити припуск для видалення наслідків так званого «крайового ефекту» – утворення напливів на торцях і радіальний розвал оброблюваного отвору.

Література

1. Кирик Д.В., Тарельник В.Б., Жарков П.Е., Антошевский Б., Волошин И.Е. (2017). Управление качеством поверхностных слоев валов роторов комбинированными технологиями электроэрозионного легирования и поверхностной пластической деформации. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*, 1(47), 22-26.
2. Нежинский, А.М. (2005). Совершенствование технологии обработки поверхностей деталей машин методами поверхностно-пластического деформирования. *Вестник Курганского государственного университета, Серия «Технические науки»*, 2(1), 153-156.

3. Дожделев А.М., Лаврентьев А.Ю. (2014). Исследование процессов, протекающих в зоне термического влияния при наплавке на термообработанную конструкционную сталь 30ХГСА. *Новые материалы и технологии в машиностроении – 2014* (с. 50-55). Брянский государственный инженерно-технологический университет.

STRENGTHENING OF SPLINE ELEMENTS USING SURFACE PLASTIC DEFORMATION METHODS

Bodu S.Zh.

Senior lecturer at the Department of engineering mechanics and machinebuilding technology

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Chikal M.A.

Master's student of the Department of engineering mechanics and machinebuilding technology

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The advantages of surface-plastic deformation strengthening in comparison with traditional thermal methods are shown. Processing is carried out by drawing a combined broach with deforming teeth. The presented technology provides simultaneous processing, calibration and strengthening of internal slotted surfaces of small diameter.

Keywords: drawing, surface-plastic deformation, roughness, calibration, splines.

УДК 621.431

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОРСКИХ СУДОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЭУ

Животовский В. А.

студент группы 1227ст

Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова

г. Николаев, Украина

wzxkdf1@gmail.com

Минчев Д. С.

кандидат технических наук,

доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания, установок

и технической эксплуатации

Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова

г. Николаев, Украина

dmytro.minchev@nuos.edu.ua

Аннотация. Выполнен анализ возможности использования батарейных электрических СЭУ на морских судна. Показано, что использование такого типа СЭУ связано с перечнем достаточно сложных проблем, которые должны быть разрешены, чтобы составить конкуренцию традиционным СЭУ с ДВС.

Ключевые слова: судовые ДВС, электрический аккумулятор, глобальное потепление

Данные Международной Морской Организации (ИМО) показывают, что "большая тройка" типов судов, состоящая из контейнеровозов, балкеров и танкеров составляет подавляющую часть (78,6%) мировых выбросов CO₂ морским транспортом. Данные выбросы по состоянию на 2019 год составили 600 миллионов тонн вредных веществ.

Выбросы опасных веществ рассчитываются на основе содержания углерода в используемом топливе. Содержание углерода в тяжелом дизельном топливе составляет примерно 86% по массе, таким образом на тонну потребляемого топлива приходится примерно 3,15 тонн выбросов CO₂.

В 2020-2021 году, в связи с пандемией, наблюдается падение количества выбросов примерно на 4,9 % из-за резкого сокращения потребительского спроса на использование сегмента круизных лайнеров, хотя потребность в морских грузоперевозках даже увеличилась. Данное сокращение выбросов является временным и поэтому поиск альтернативных источников энергии является актуальным.

Одним из путей существенного сокращения выбросов парниковых газов морским транспортом может стать использование электрических СЭУ, в которых энергия для главных электродвигателей запасается в аккумуляторных батареях. Кроме того, использование таких СЭУ позволяет легче осуществить полную автоматизацию судна.

Влияние выбросов ДВС на окружающую среду можно разделить на две основные проблемы: 1) выбросы токсичных для здоровья человека веществ, такие как оксиды серы и азота, сажевые частицы, несгоревшие углеводороды, представляющие канцерогенную опасность; 2) выбросы парниковых газов, прежде всего CO₂, которые способствуют глобальному потеплению на планете.

В последние годы с введением экологических норм ИМО Tier III для специальных контролируемых зон мореходства и ИМО Tier I для всего мирового океана удалось существенно снизить выбросы оксидов серы и азота. Существенные резервы по снижению токсичности выхлопа судовых ДВС остаются и могут быть достигнуты путем рециркуляции отработавших газов с их последующим охлаждением, использованием каталитических систем нейтрализации выхлопных газов, а также использованием скрубберов. Также существенно снизить токсичность выхлопа позволяет использование сжиженного природного газа в качестве топлива.

Что касается снижения выбросов парниковых газов, то эта проблема решается сложнее, так как морские суда работают на топливе, получаемом из нефти и природного газа. Здесь следует отметить, что использование сжиженного природного газа позволяет снизить выбросы CO₂ до 14-18 %, однако при этом существенно возрастает опасность

утечки метана, являющимся существенно более интенсивным парниковым газом чем углекислый газ.

Использование топлива биологического происхождения либо синтетического топлива не позволяет обеспечить энергетические потребности морского флота, таким образом использование ДВС на морском транспорте будет оставаться фактором, способствующим глобальному потеплению

До недавнего времени обсуждение использования полностью электрических СЭУ являлось больше теоретическим и не переходило в практическую плоскость. Однако уже в этом году Норвегией был представлен полностью автономный контейнеровоз "Yara Birkeland" с нулевым уровнем выбросов, который будет управляться с трех береговых центров управления данными. Это не первое автономное судно – в 2017 году Китаем был введен в эксплуатацию первый полностью электрический балкер водоизмещением 2000 тонн, в 2018 году в Финляндии был спущен на воду полностью автоматический паром.



Проект японского танкера «e5»

Однако, несмотря на технологический прогресс, говорить о замещении СЭУ с использованием ДВС на аккумуляторные электрические СЭУ пока рано. Это обусловлено гораздо меньшей мощностью электрических СЭУ по отношению к ДВС. По состоянию на сегодняшний день автономные суда имеют сравнительно небольшую грузоподъемность и ограниченную дальность хода.

Говоря о переходе на электрические морские суда, нельзя не задеть такой важный аспект, как стоимость постройки и эксплуатации водного транспорта, а также его рентабельность в сравнении с традиционными двигателями. В настоящее время использование ДВС существенно более эффективно с экономической точки зрения.

Приведем в качестве примера датский паром "Ellen", который был построен за 5 лет за 21,3 миллиона евро, однако его заряда хватает лишь на 23 мили без подзарядки. Четырехлетнее строительство упомянутого ранее норвежского контейнеровоза "Yara Birkeland" водоизмещением 3200 тонн обошлось в 25 миллионов долларов, что на треть превышает стоимость обычного контейнеровоза таких размеров. Судно курсирует в пределах 11 миль. Для сравнения, по данным на ноябрь 2020 года цена на строительство танкера типа VLCC грузоподъемностью до 320.000 тонн составляет до 85 миллионов долларов за судно.



Финский электрический паром «Falco»



Датский электрический паром «Ellen»



Норвежский автономный контейнеровоз «Yara Birkeland»

На данный момент нет ни одного судна на базе электрической СЭУ, которое могло бы составить достойную конкуренцию двигателям внутреннего сгорания. Нынешний уровень развития технологии использования судов, работающих на электрической энергии говорит о том, что они могут быть использованы только локально.

Следует также отметить, что факт неиспользования топлива ископаемого происхождения при эксплуатации судов с электрическими СЭУ не означает, что постройка и эксплуатация таких судов не сопровождается выбросами парниковых газов и токсических веществ.

Также важно оценивать воздействие на окружающую среду за весь жизненный цикл судна и его энергетической установки, включающий постройку, эксплуатацию и утилизацию.

Так, производство литий-ионных аккумуляторных батарей требует значительного количества лития высокой чистоты, производство которого сопровождается существенными выбросами вредных веществ. Кроме того, в электрических СЭУ существенно возрастает доля меди, редкоземельных металлов, производство которых также требует больших энергетических затрат. В целом, производство электрических СЭУ оценивается как существенно (порядка 50%) более токсичным. Еще большей проблемой являются вопросы утилизации отработавших аккумуляторных батарей.

Также важно отметить, что сегодня производство электроэнергии на 61 % обеспечивается угольными электростанциями, которые характеризуются большими выбросами парниковых газов чем ДВС. Очевидно, что массовое использование

электрических судов скажется на необходимости дополнительной генерации электрической энергии.

Литература:

1. CNN International: World's first crewless, zero emissions cargo ship will set sail in Norway: <https://cutt.ly/kRrRUIv>
2. Futurism | Science and Technology: China Has Launched the World's First All-Electric Cargo Ship: <https://cutt.ly/mRrRA7C>
3. Yle Finland News: Autonomous ferry makes first demonstration voyage in Finland: <https://cutt.ly/YRrRMOz>
4. Habr: Самый большой в мире электрический паром Ellen начал выполнять регулярные рейсы: <https://cutt.ly/mRrR5az>
5. Lloyd's List: Shipping's 'big three' account for almost 80% of CO2 emissions: <https://cutt.ly/jRrRz7B>

SEAGOING BATTERY ELECTRIC VESSELS PERSPECTIVE VIEW

Zhyvotovskiy V. A.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Minchev D. S.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The analysis of battery electric seagoing vessels perspective is presented. The number of significant issues should be solved to make battery electric power plants competitive to traditional ICE power plants, as it is shown.

Keywords: marine internal combustion engine, electric battery, global warming

UDC 629.5

MODELING THE POLLUTION PROCESSES ON THE LOW-TEMPERATURE SURFACES OF EXHAUST GAS BOILERS WITH WATER-FUEL EMULSION COMBUSTION

Victoriya Kornienko

²*Kherson branch of Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Ushakova Avenue, 44, Kherson, Ukraine, 73000*

ABSTRACT: In the paper statistical processing of the research results, which showed the prevailing influence on the specific increase in the mass of pollution of the sulphur and water content in the water-fuel emulsion, and then the excess air factor, was carried out.

The constant increase of the liquid fuels cost has led to the need for combustion of sulfur fuel oils in internal combustion engines (ICE), which affects the environmental and operational performances of ship exhaust gas boilers (EGB) and stationary cogeneration plants. When these fuels are burned, the rate of low-temperature corrosion (LTC) increases, the value of which reaches up to 1,5 mm/year at a wall temperature below 130 °C, which limits the possibility of reducing the exhaust gas temperature at the outlet from the EGB and the depth of the gases heat utilization. At the same time, the pollution intensity increases, as a result of which the intensity of heat transfer in the heating surfaces decreases, and the aerodynamic resistance of the EGB increases. Experience of the boiler plants operation indicates that the fight against low-temperature related pollutions is no less urgent than protecting heating surfaces from LTC. However, in literary sources there is no quantitative data on the intensity of the pollution.

Experimental researches of the pollution intensity at wall temperature values below the dew point temperature of sulfuric acid vapors were carried out in an experimental setup with combustion of M100, M40 and WFE based on them at α values of up to 1,5 and EGB established after ICE at $\alpha = 2,9$.

Based on the experimental researches, the relations of the specific increase in the mass of pollution from the air excess coefficient $\Delta G_p = f(\alpha)$ were obtained for different water content of WFE $W^r = 2, 17$ and 30 % (Fig. 1). The relations, shown in Fig. 1, at $S^r = 1,5$ % were showed an increase of ΔG_p with increasing excess air factor α . When fuel was combustion with $W^r = 2$ % with an increase of α from 1,05 to 2,9, the value of ΔG_p increased by 2,7 times, when WFE was combusted with $W^r = 17\%$ – by 2,6 times, with $W^r = 30\%$ – by 2,3 times. At $\alpha = 2,9$, an increase in the water content of the fuel from 2 to 30 % leads to a decrease of ΔG_p by 1,7 times.

Statistical analysis of the obtained results was carried out, which showed that the sulfur content S^r , the water content in the emulsion W^r and α have statistically significant effects. It is advisable to apply contours of estimated response surface (Figs. 2-4) for more detailed research of the maximum and minimum regions.

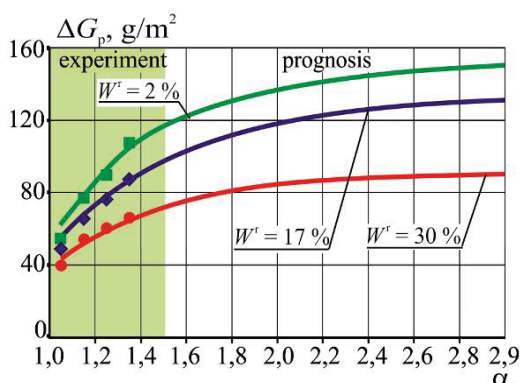


Fig. 1. Relations of the specific increase in the mass of pollution ΔG_p from the excess air factor α while different water content W^r WFE $\tau = 8$ hours, $S^r = 1,5$ %: 1 – $W^r = 2$ %; $W^r = 17$ %; $W^r = 30$ %.

Analysis of the contours of estimated response surface (Fig. 4) showed that the lowest value is observed when $W^r = 30$, $\square = 1,5$, $S^r = 1,0$ %, and the largest – $W^r = 2$, $\square = 3,0$, $S^r = 2,0$ % (Fig 2).

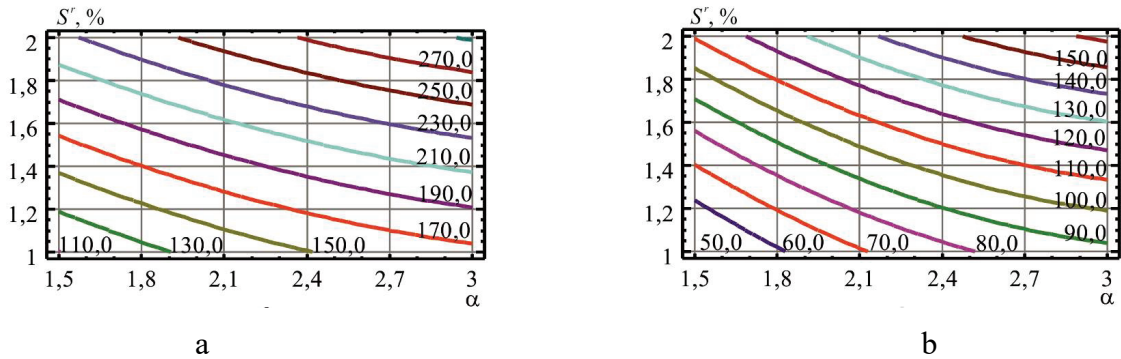


Fig. 2. Contours of estimated response surface $\Delta G_p = f(S^r, \square)$ while: (a) – $W^r = 2$ %; (b) – $W^r = 30$ %

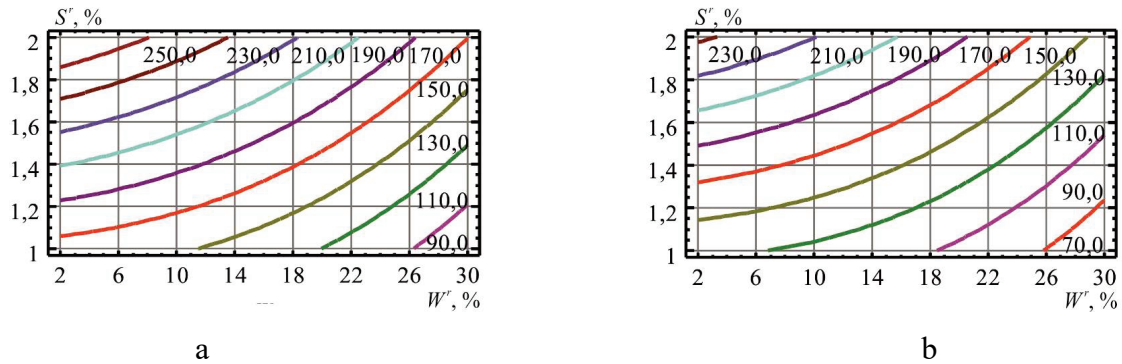


Fig. 3. Contours of estimated response surface $\Delta G_p = f(S^r, W^r)$ while: (a) – $\square = 2,9$; (b) – $\square = 2,0$

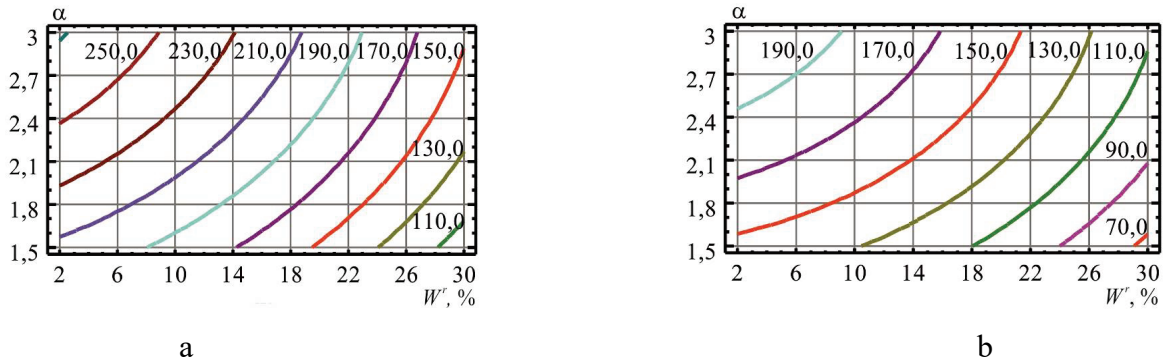


Fig. 4. Contours of estimated response surface $\Delta G_p = f(W^r, \square)$ при: (a) – $S^r = 2$ %; (b) – $S^r = 1,5$ %

Increase of the emulsion water content W^r from 2 to 30 % at $\square = 2,9$ leads to decrease of the ΔG_p values by 2,1...1,8 times at the sulfur content range of 1,0...2,0 (Fig. 3). At $S^r = 1,5$ %, increase of the excess air ratio $\square$ from 1,5 to 2,9 leads to increase of ΔG_p values of 1,4...1,6 times at the water content range of the emulsion of 2...30 % (Fig 4).

УДК 629.5.03

ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ У СКЛАДІ ПРОПУЛЬСИВНОЇ УСТАНОВКИ СУДНА

Корнелюк О.М.

*ст. викладач кафедри управління судном
Херсонської державної морської академії
м. Херсон, Україна
olganikkornelyuk@gmail.com*

Анотація. Однією з головних задач під час проектування пропульсивної установки судна є прийняття рішень щодо вибору його ефективних складових. Ця задача достатньо трудомістка. З метою узагальнення результатів проведеного огляду літератури та виконаних досліджень сформовано основні напрямки оптимізації проектування пропульсивного комплексу судна. Отримані результати дають підстави стверджувати про доцільність їх використання під час виконання проектних робіт.

Ключові слова: гребний гвинт, пропульсивний комплекс судна, двигун, ККД гребного гвинта, CFD-пакет

Актуальність дослідження. Одна з основних причин втрати потужності у гвинто-рульовому комплексі при передачі енергії від двигуна до рушія обумовлена погіршенням умов роботи гребного гвинта за корпусом судна. Отже завдання підвищення ефективності гребного гвинта у складі пропульсивного комплексу судна є актуальним як для нових суден, що проектуються, так і для суден, що перебувають в експлуатації.

Мета доповіді. Узагальнити проблеми прийняття рішень при проектуванні гребного гвинта у складі пропульсивного комплексу та сформулювати основні напрямки оптимізації проектування пропульсивного комплексу судна.

Викладення основного матеріалу. Найбільше застосування на сучасних морських судах знаходять гребні гвинти. Вони відносяться до гідравлічних рушіїв, дія яких заснована на відкиданні в сторону, протилежну руху мас води, що захоплюються під час роботи. Головні двигуни всіх типів суднових енергетичних установок взаємодіють з гребними гвинтами динамічно і кінематично. Кінематичний зв'язок при прямій передачі виражається у рівності частот обертання валу двигуна і гребного гвинта. Наявність редуктора не вносить принципових змін в фізичну сутність цієї взаємодії. Динамічно зв'язок виражається в рівності моментів, тобто моменту гребного гвинта M_p і обертаючого моменту на валу двигуна M_e (з урахуванням втрат на тертя у валопроводі). Ці зв'язки визначають роботу двигуна за єдиними з гребними гвинтами характеристиками, які залежать від

експлуатаційних характеристик корпусу судна $R(v_s)$. Спільні характеристики двигуна і гребного гвинта називаються гвинтовими характеристиками.

Для аналізу режиму спільної роботи гребного гвинта з двигуном на паспортних діаграмах судна наведено залежності потужності N_g , кВт, що поглинаються гребним гвинтом, від швидкості руху судна при плаванні в різних умовах (рис.1). Криві I-IV (точки 1-12) показують залежність потужності, споживаної гребним гвинтом при вільному ході судна, а криві V-VII характеризують зміну споживаної потужності у функції швидкості судна при різних частоті обертання гребного гвинта. Також нанесена обмежувальна зовнішня номінальна швидкісна характеристика по ефективній потужності двигуна (лінія KL) [1].

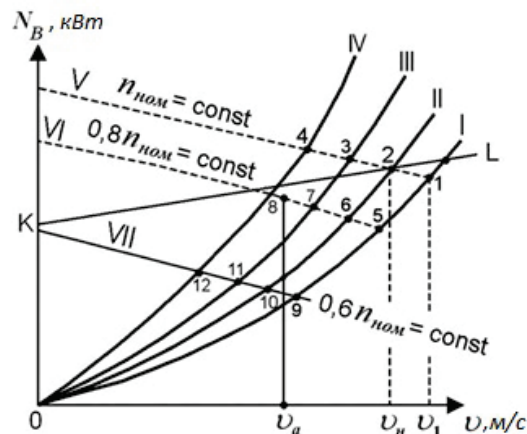


Рис.1 Залежність потужності, споживаної гребним гвинтом, від швидкості руху судна

Оскільки рух судна зазвичай здійснюється за рахунок підведення енергії від двигуна до рушія, то неминучі її втрати при передачі. Тому потужність, що виробляється двигунами, або ефективна потужність N повинна бути більшою за буксировочну потужність N_B . Найбільший ККД гребного гвинта буде в тому випадку, коли потік води, що набігає, перпендикулярний диску гвинта і має швидкість, рівну швидкості судна. Це реалізується у випадку достатньо великого віддалення гвинта від корпусу судна. У більшості випадків гребний гвинт знаходиться в безпосередній близькості від корпусу, тому потік води, що набігає на нього, відхиляється від перпендикуляра. Крім того, оскільки вода в прикордонному шарі рухається разом з судном, швидкість набігання потоку на гвинт знижується (рис.2). Ці дві обставини враховує коефіцієнт впливу корпусу η_k , що змінюється в межах 0,95-1,2.

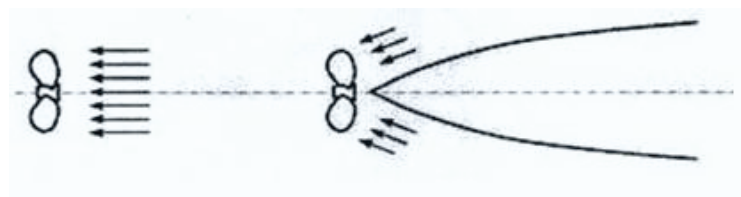


Рис.2 До визначення пропульсивного коефіцієнта

Одним з питань, яке має бути вирішеним під час проектування, є дослідження ефективності гвинта при роботі його за корпусом судна. Чим більшим буде ККД спроектованого гребного гвинта при роботі у вільній воді, тим більше значення ККД гвинта буде забезпечено при роботі його за корпусом. Отже, це дозволить економити паливо при виконанні рейсів, вартість якого з кожним роком зростає. Також при проектуванні гвинта слід враховувати тип судна і умови його експлуатації (в тому числі район плавання). У загальному вигляді етапи проектування гвинта наступні:

- вибрати серію гребного гвинта, а також його геометричні характеристики;
- побудувати теоретичне креслення гребного гвинта (в разі 3D-моделі будувати теоретичне креслення немає необхідності);
- дослідити гідродинамічні характеристики гребного гвинта;
- оцінити коефіцієнт корисної дії гребного гвинта;
- проаналізувати отримані результати, і в разі необхідності внести корективи в форму гребного гвинта, його профілюнку, повторивши всі попередні етапи від вибору серії до оцінки ефективності гвинта;
- виготовити гребний гвинт, використовуючи одну з сучасних технологій виготовлення гребних гвинтів.

При вирішенні питання вибору серії гребного гвинта неможливо припустити, яка саме геометрія гвинта буде оптимальною для конкретного судна, що проектується [2]. Рішення такої задачі потребує проведення достатньої кількості експериментів, аналізу і розрахунків з метою вивчення впливу геометричних характеристик гребного гвинта на його гідродинаміку.

Створюючи опір, рушій в умовах експлуатації викликає вібрацію корпусу судна. Крім того, виникає питання забезпечення допустимої гучності гребного гвинта при його роботі. Під час проектування рушія слід враховувати також необхідність зменшення впливу цих явищ при взаємодії системи рушій-корпус. У суднобудуванні виникають ситуації, коли є необхідність підвищення тяги гребного гвинта для типів суден, для яких неможливо збільшувати діаметр рушія зважаючи на особливості їх експлуатації. Це річкові судна, що мають малу осадку, а також високошвидкісні судна з обмеженим діаметром гребного гвинта. В цьому випадку ефективність буде залежати від профіля лопаті гребного гвинта і його геометричних характеристик при тому ж шаговому відношенні. Результати багаточисельних досліджень, описані в [3,4,5], вказують на наявність впливу геометрії гвинта на його ефективність. Сьогодні розроблено понад 20-ти серій гребних гвинтів. У деяких джерелах можна зустріти інформацію про те, що шаблевидні гвинти більш ефективні. Однак, при проведенні експериментів [3,4,5] з'ясувалося, що шаблевидність лопаті майже не сприяє збільшенню ККД гвинта.

Оптимізувати можна гвинт будь якої серії шляхом внесення змін в його геометрію (редагування законів розподілу його характеристик уздовж лопаті). Актуальною є розробка гвинтів нової серії, коли задаються довільні закони і характеристики профілю лопаті. Слід зазначити, що зручніше брати за основу серійний гвинт, поступово вносити зміни в його геометрію і робити експерименти з метою оцінки його гідродинаміки.

Сьогодні створювати моделі і проводити величезну кількість модельних експериментів в дослідному басейні є затратним. Теоретичні основи теж не завжди достовірно на 100% можуть передбачити картину ефективності гвинта (теорія несучих ліній, теорія несучої поверхні, теорія елементів лопаті). Саме тому сьогодні актуальне багатоваріантне проектування рушіїв за допомогою CFD-пакетів як одного з етапів проектування гребного гвинта. Широке застосування знайшли такі пакети як SIGMAFLOW, ANSYS FLUENT, STAR-CD, Fluent, Flow Vision, SolidWorks Simulation.

Висновки та рекомендації

1. Результати досліджень, сучасні технології та підходи до проектування гвинтів дозволяють сьогодні виключити великий обсяг ручної праці при проектуванні ефективних рушіїв.

2. Ефективним є багатоваріантне проектування з використанням комп'ютерних технологій, яке дозволяє оптимізувати процес вибору обводів корпусу, характеристик головного рушія, двигуна, сумісних з точки зору забезпечення ефективності судна, а також скоротити час проектування.

3. В умовах втрати потужності у гвинто-рульовому комплексі при передачі енергії від двигуна до рушія доцільним є розробка вискоефективних гребних гвинтів наряду з встановленням на судах сучасних СЕУ. Підвищення коефіцієнта корисної дії рушія хоча б на 1% дозволить заощадити ешелони палива.

4. На ККД пропульсивного комплексу судна впливає відстань між корпусом судна та гребним гвинтом. Слід зазначити, що рішенням такої задачі може бути проведення чисельних експериментів у одному з CFD-пакеті.

Література:

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна: [3-е изд., перераб. и доп.] / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328с.

2. Зуев В. А., Калинина Н. В., Рабазов Ю. И. Выбор основных характеристик морских транспортных судов на начальной стадии проектирования: учеб. пособие / В.А. Зуев, Н.В. Калинина, Ю.И. Рабазов; Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2012. -225 с. ISBN 978-5-93272-423-1.

3. Корнелюк, О. Н. Особенности моделирования работы гребного винта в среде FLOW VISION [Текст] / О. Н. Корнелюк // 3б. наук. праць НУК. — Миколаїв: НУК, 2015. — № 1. — С. 21–26.

4. Новый метод проектирования высокоэффективных гребных винтов [Электронный ресурс] / Ю. М. Король, О. Н. Корнелюк // Инновации в судостроении и океанотехнике: материалы V междунар. науч.-техн. конф. – Николаев, 2014.

5. Король, Ю. М. Технология моделирования работы судовых винто-рулевых комплексов в среде FlowVision [Текст] / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // Труды Всерос. науч.-практ. конф. «Инженерные системы–2010». – М.: РУДН, 2010. – С. 137–141.

PROBLEMS OF TAKING DESIGN DECISIONS WHEN DESIGNING SCREW PROPELLERS AS A PART OF THE SHIP PROPULSION SYSTEM

Kornelyuk Olga

Department of Ship Management Kherson State Maritime Academy

Abstract. One of the main tasks in the design of a ship's propulsion system is taking decisions on the choice of its effective components. This task is rather laborious. In order to generalize the results of the literature review and the carried out research, the main directions of optimization of the design of a ship's propulsion system were formed. The results give reasons to assert the expediency of their use during design work.

Keywords: screw propeller, ship propulsion system, engine, propeller efficiency, CFD-package

УДК 621.181.27 (075.8)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОМПАКТНОСТІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ІНТЕНСИФІКАЦІЄЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ЇХ ЕЛЕМЕНТАХ

Кузнецов В.В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри технічної теплофізики і суднових паровиробних установок Національного
університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

Шевцов А.П.

доктор технічних наук,

*професор Навчально-наукового центру морської інфраструктури
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Представлені результати роботи по підвищенню ефективності і компактності енергетичних установок шляхом інтенсифікації теплопередачі в їх елементах. Наведена виконана послідовність робіт та охарактеризовані основні наукові результати. Обґрунтовані рекомендації щодо проектування ефективних і компактних теплообмінних апаратів

Ключові слова: суднова енергетична установка, ефективність, компактність, інтенсифікація, теплопередача, елемент

Посилення вимог *IMO* до суднових енергетичних установок викликає необхідність підвищення їх комплексної ефективності – економічної, екологічної, ресурсної та масогабаритної [1-2]. Ефективним способом в цьому напрямку є вдосконалення процесів перетворення теплоти в теплообмінних апаратах енергетичних установок.

Одним із перспективних шляхів інтенсифікації процесів переносу в теплообмінних апаратах є погодження форми і площі поверхонь при переносі теплоти і маси в елементах енергетичних установок. Це погодження базується на використанні внутрішньої і зовнішньої форм поодиноких каналів при заданих розмірах та їх просторовому розташуванні у пучках. Суттєвою відмінністю таких пучків теплопередавальних поверхонь буде забезпечення переважання зростання теплопередачі над зростанням гідродинамічного опору на її забезпечення. Це дасть можливість створення на їх основі компактних теплообмінних апаратів для реалізації підвищених теплових потоків.

Розповсюдженню таких пучків поверхонь заважає відсутність знань про особливості теплогідравлічних процесів при щільній компоновці таких пучків.

Суттєвою проблемою є відсутність узагальнюючих положень і рекомендацій щодо підвищення комплексної технічної ефективності енергетичних установок за рахунок інтенсифікації теплопередачі в їх елементах.

Науково-прикладною проблемою, яка вирішується у роботі, є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів та зменшення теплових і шкідливих викидів відпрацьованих газів суднових енергетичних установок шляхом раціональної організації перетворення енергії за рахунок погодження форми і площі поверхонь при переносі теплоти і маси в їх елементах.

Виконана оцінка сучасного рівня комплексної технічної ефективності – техніко-економічної, екологічної, ресурсної та показників компактності – стаціонарних та транспортних енергетичних установок. Розглянуті можливості підвищення потенціалу ефективності і компактності енергетичних установок в залежності від функціональної приналежності їх теплообмінних апаратів при інтенсифікації в них процесів тепловіддачі. Представлений аналіз сучасних рівнів інтенсивності процесів перенесення теплоти і маси та їх вплив на характеристики ефективності і компактності.

Отримала подальший розвиток методологія математичного моделювання енергетичних установок з урахуванням теплообмінних апаратів. Обґрунтовано доцільність використання безрозмірних критеріїв подібності для аналізу ефективності процесів перенесення теплоти в трубних пучках. Запропонований інтегральний критерій ефективності енергетичних установок для комплексного урахування економічних, екологічних, ресурсних та масогабаритних показників енергетичних установок. Методом фізичного моделювання

верифікована математична модель перенесення теплоти в теплопередавальних елементах енергетичних установок.

Для процесів перенесення теплоти всередині каналів виконане узагальнення наявних літературних даних при закрученні потоку та на шорстких поверхнях. В результаті для закручених потоків отримане рівняння складається з двох добутоків, перший з яких визначає ефективність теплообміну в каналі з незакрученим потоком, а другий – вплив закрутки потоку. Отримані залежності для аксіально-лопаткового, тангенціального та шнекового завіхрювачів. Особливістю отриманої залежності для тепловіддачі шорстких каналів є наявність в якості визначального параметру тільки відносної висоти шорсткості $\delta_{ш}/R$.

Проведений аналіз теплогідравлічної ефективності при зовнішньому обтіканні гладких профільованих поверхонь показав, що більшу компактність мають еліптичні труби зі співвідношенням осей $a/b=2,4\dots2,6$. Отримані критеріальні залежності для розрахунків тепловіддачі та гідродинамічного опору в пучках еліптичних труб при їх щільному компонуванні та оребрених труб з трубою-основою круглого та еліптичного перерізів з нанесеними лунковими системами на ребрах. Ці результати дозволити виконати аналіз інтенсифікації процесів теплопередачі при обтіканні пучків труб та обґрунтувати їх просторове розташування в теплообмінних апаратах енергетичних установок.

Проведено дослідження зміни компактності теплообмінних апаратів по показнику відносної маси при вдосконаленні процесів перенесення теплоти.

Проаналізовано вплив показників ефективності тепловіддачі і теплопередачі утилізаційних котлів суднових дизельних та газотурбінних установок, регенераторів газотурбінних установок та теплообмінних апаратів систем кондиціювання на показники характеристик енергетичних установок. Проведена інтегральна оцінка ефективності перетворення теплоти в судновій енергетичній установці з головним двигуном 12S90ME-C9.2, що дало можливість визначити зміну критерію та відносної маси елементів установки в залежності від її ККД.

В результаті проведених робіт представлені рекомендації щодо проектування ефективних і компактних теплообмінних апаратів та представлена реалізація результатів наукового дослідження в практику проектування та створення систем регенерації і утилізації теплоти енергетичних установок. Сформульовані напрямки подальших досліджень вдосконалення процесів перенесення теплоти та її інтенсифікації в суднових енергетичних установках.

Література

1. IMO, 2014. Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. MEPC.245(66). MEPC 66/21/Add.1 p:1. URL: 216

<http://www.imo.org/en/OurWorkEnvironment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/MEPC.308%2873%29.pdf> (дата звернення: 06.10.2021).

2. IMO, 2015. MEPC.263 (68) – Amendments to the 2014 guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships. – URL: <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee%28MEPC%29/Documents/MEPC.263%2868%29.pdf>. (дата звернення: 06.10.2021)

INCREASING THE EFFICIENCY AND COMPACTNESS OF SHIP POWER PLANTS BY INTENSIFYING HEAT TRANSFER IN ITS ELEMENTS

Kuznetsov V.V., Shevtsov A.P.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The results of investigation of increasing the efficiency and compactness of marine power plants by intensifying heat transfer in its elements are presented. The sequence of works is given and the main scientific results are characterized. Reasonable recommendations for the design of efficient and compact heat exchangers are presented.

Key words: marine power plant, efficiency, compactness, intensification, heat transfer, element

УДК 621.51: 628.84

FEATURES APPLICATION AND IMPROVEMENT OF HERMETIC COMPRESSOR UNITS OF SHIPBOARD EQUIPMENT OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION

Olena V. Lytosh

Ph. D., associate professor

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,

Mykolaiv, Ukraine

elitosh17@gmail.com

Abstract. The issue is discussed related to the concept of application and improvement of hermetic compressor units (HCU) of shipboard equipment air conditioning and refrigeration (EACR). The purpose of this study is to analyze the development of HCU in our country and abroad and the prospects for the application and improvement of domestic HCU for shipboard EACR development. The choice and application of HCU (spiral or piston) for shipboard EACR is analyzed. The results of the study showed that with a cooling capacity of up to 16 kW, piston HCU retain their advantage.

Keywords: hermetic compressor unit; compression refrigeration machine; shipboard air conditioning and refrigeration equipment; piston and spiral HCU; refrigeration coefficient; cooling capacity.

Hermetic compressor units (HCU) are an integral part of hermetic vapour compressor refrigeration machine (VCRM), which belong to the class of thermotransformers in which the

supplied electric energy is converted into cold during the transfer of heat from a low-temperature to a medium-temperature level with the cost of electricity to maintain the corresponding pressure difference. As the working fluid of the VCRM, a low-boiling working fluid – a refrigerant is used, and electricity is consumed by the electric motor of the compressor unit [1].

The rapid development and improvement of hermetic VCRM is not least due to the current trend of transition to environmentally friendly refrigerants (R134A, R404A, R407C, R410A, etc.). However, these refrigerants are expensive and work with polyester oils that are poorly compatible with other brands of oils. Also, their thermodynamic properties are inferior to traditional refrigerants, they are non-azeotropic mixtures, the leakage of which leads to a change in composition and an increase in the nonisothermal process of boiling. Transition to hermetic VCRM partially avoids these shortcomings.

A feature of a hermetic VCRM is that the compressor itself and the electric motor, having a common shaft, bearings, lubrication and cooling systems, form a single compressor unit placed in an airtight casing – an hermetic compressor unit (HCU), which largely determines the reliability of the VCRM and the technical economic indicators of her work. [2].

The process of improving the HCU, the creation of new types is going around the world. There are a number of original directions that can find application in the HCU. We have considered only those types of HCU that really compete with piston HCU and are of interest for domestic engineering, including shipbuilding. These are, first of all, rotary machines: rotary, screw and spiral HCU.

From the analysis of studies and publications it follows that there was a problem of choice and prospects for the use of various types of HCU, in particular, for VCRM of shipboard equipment air conditioning and refrigeration (EACR).

The world leading companies, along with the development of spiral technologies, continue to successfully improve piston compressors, achieving high rates not inferior to rotary machines [3].

So, *Bitzer* company created a new series of *Octagon* piston compressor units, in which the following parameters were improved: smoothness and noise characteristics, efficiency, performance control, overall dimensions and weight, cost. This was achieved thanks to the new cylinder head with pulsation damper and performance regulation by changing the speed of the crankshaft by adjusting the frequency of the supply current in the range of 20...70 Hz with an integrated frequency converter. This allowed to saving up to 40% of electricity in the process of work. When comparing piston HCU *Octagon* with spiral ones, it was revealed that the former have the best characteristics in the field of low temperatures, are more reliable, are better repaired.

Copeland, which successfully implements spiral technologies, not only does not refuse to produce reciprocating compressor units, but also continues to successfully improve them. *Copeland*

produces *Discus* semi-hermetic piston compressor units, which have design features that give certain advantages to this type of machine.

Danfoss Maneurop has developed the *VTZ Compressor DriveTM* piston HCU series, highly efficient and economical in operation, with an adjustable shaft speed of 30 to 90 rps (the frequency of the supply current varies from 30 to 90 Hz), which depends on the required performance. The power consumption of *VTZ* compressors is lower than a fixed speed rotary HCU. Total energy savings of up to 40%.

In connection with the foregoing, the question arises about the prospects for the use of piston HCU in the future, in particular, for EACR in the context of a constant increase in energy efficiency, increased reliability, and reduced production costs.

This question is ambiguous and the choice of HCU depends on various factors that must be taken into account by the developer at the design stage of the equipment and, first of all, such indicators of HCU as: purpose (cooling capacity, scope); reliability (reliability, durability, maintainability); economic (energy efficiency, production costs); ergonomic (noise, vibration, compliance with safety requirements). Only taking into account all factors, the developer can determine the type of HCU that is most suitable for a specific task [2].

In view of the above, and also taking into account the fact that the productivity of the VCRM module for shipboard EACR is 15 kW, when answering the question which compressor (piston or spiral) is most suitable for shipboard EACR, it can be argued that in the field of small and medium performance (up to 16 kW) piston HCU retain their position.

The first domestic piston HCU of the KHG type for marine air conditioners were developed by "Teplotekhnika" (in the future CSR and DI "Typhoon") in 1965. The series consisted of four models with cooling capacity from 2.56 to 16.3 kW (at boiling points $t_0=5^{\circ}\text{C}$, condensation $t_c=40^{\circ}\text{C}$, suction $t_{su}=20^{\circ}\text{C}$ and supercooling $t_u = 35^{\circ}\text{C}$). Synchronous speed of shaft 25 rps, refrigerant – R22. In terms of volumetric, energy and mass indicators, HCU were not inferior to similar domestic and foreign samples with the same speed.

Over 25 years of experience in the production and operation of these KHG revealed design flaws (the likelihood of a water hammer, the use of difficult and unreliable forked connecting rods, intense wear of the upper main bearing, etc.).

The indicated design flaws were taken into account when creating the CSR and DI "Typhoon" in 1974 of a high-speed HCU of the KHGV-14 type for marine autonomous air conditioners of amphibious ships powered by a 400 Hz network. A synchronous speed of shaft 66.7 rps was adopted for it, since at a lower frequency (50 rps) the characteristics of the built-in electric motor deteriorated, which led to a decrease in the performance and an increase in the temperature level of the HCU in general [4].

The experience of domestic and foreign compressor engineering convincingly shows that the development and improvement of HCU is on the path to increasing the speed, optimizing design and operational parameters. Previously developed domestic hermetic RHC compressor units with a synchronous speed of shaft of 25 rps for shipboard design work did not fully meet modern requirements (in terms of speed, reliability, noise, vibration, etc.) for shipboard EACR.

HCU with a rotation speed of 50 rps is 10...20% cheaper than machines with 25 rps [2]. It was established that four-cylinder gas turbines (KHG – 9, KHG -14) are the most labor-intensive in manufacturing, and a noticeable economic effect should be expected from replacing four-cylinder HCU with a rotational speed of 25 rps with two-cylinder ones with 50 rps. This was one of the reasons for the creation of a new series of hermetic reciprocating compressor units of the HGV type (high-temperature hermetic refrigerant) with a synchronous speed of 50 rps. HCU of a new series are distinguished by the breadth of coverage of the required cooling capacity (from 3 to 33 kW) and can completely replace the obsolete HCU of the KHG type [5].

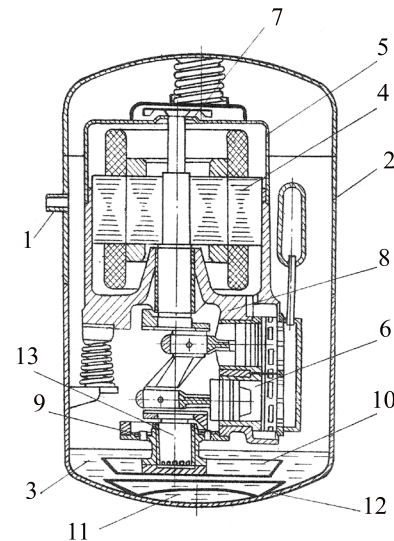
Compressors of type HGV (Fig. 1) are an aggregate with a built-in electric motor enclosed in a steel casing, with internal vibration isolation and a remote silencer-receiver on the discharge line. During their development and improvement, they made the most of the experience of creating a HCU with a synchronous speed of 66.7 rps.

To prevent water hydraulic and reduce oil entrainment in the HGV compressors (see Fig. 1), a device is provided consisting of a centrifugal lionfish mounted on the upper end of the shaft in the suction path. To ensure intensive cooling of the electric motor and reduce noise at the suction, a special silencer hood is installed above the electric motor.

Fig. 1. Hermetic compressor unit type HGV

(longitudinal section):

- 1 – suction pipe; 2 – a tight casing; 3 – oil; 4 – electric motor; 5 – a cap of the electric motor; 6 – cylinder; 7 – hole in the cap of the electric motor; 8 – block crankcase; 9 – pipe; 10 – disk; 11 – stagnant zone; 12 – a guard; 13 – shaft



Structurally, the HCU series is made on two basic cylinder diameters: 36 and 50 mm. In this case, the optimal ratio, cylinder diameter and piston stroke were selected. Three models are unified among themselves – HGV-2.2, HGV -4.5, HGV -9.0 and two models – HGV -14.0, HGV -28.0.

Unification according to the connecting rod-piston groups, valve devices, parts of the crankcase, the casing exceeds 80 %.

The creation and development of the production of new high-speed (with a synchronous speed of 50 and 66.7 rps) piston HCU for marine air conditioners required a significant amount of theoretical and experimental research to refine and improve these machines, which made it possible to solve the problems of increasing energy efficiency, reliability and optimization of the latter. Their refrigeration coefficient is increased by 10...12 %, and the resource is increased from 25 to 40 thousand hours.

In Fig. 2 shows the dependences of the conversion coefficient ε_e , specific metal consumption g , and specific overall volume v on the nominal refrigerating capacity Q_n for domestic refrigerated caskets ("Odeskholodmash" Production Association, PC CSR and DI "Typhoon") and leading foreign companies (USA "Tecumseh", "Mitsubishi" Japan and other). The characteristics of the HCU (except for PG5) were obtained as a result of their tests with the participation of the author at the stands of the CSR and DI "Typhoon", and PG5 was taken from the reference data [6].

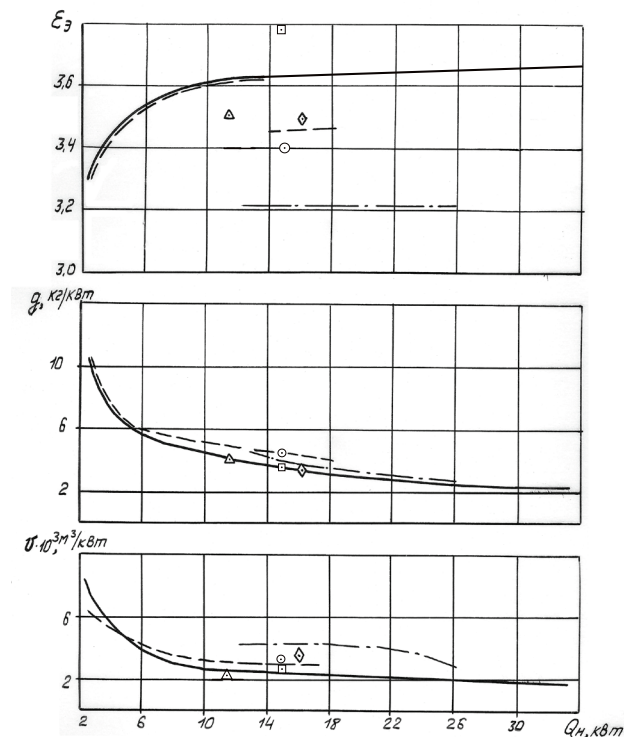


Fig. 2. Dependences of the conversion coefficient ε_e , specific metal consumption g and specific overall volume v on the nominal refrigerating capacity Q_n for domestic and foreign commercial refrigerated equipment:
 ———— HG; — — — KH; — · — PG;
 Δ – CL41ZA17 "Tecumseh"; $\diamond$ – 3005-03 "Chrysler Airtemp"; $\square$ – CA5A "Mitsubishi" (Japan); $\circ$ – 500 FH₄ "Hitachi" (Japan)

A comparative analysis of the characteristics shows that HCU type HG correspond to the level of the best samples of domestic and foreign technology. The range of nominal refrigerating capacities of HG compressor units is much wider than existing domestic models.

In connection with the creation of domestic VCRM for ship provisioning pantries, the need for HCU for work in the low-temperature area has increased. As a result of investigations of HCU of the HG type in low-temperature regimes, a number of low-temperature compressor units were

created and improved on their basis.: HGN-0,7 (HGV-4,5), HGN-1,4 (HGV-9,0), HGN-3,5 (HGV-14,0), HGN-7,0 (HGV-28,0) [7].

Piston HCU continue to be in steady demand due to the proven production technology, high reliability and relatively low cost. They still have significant development potential that will allow them to be optimally used in shipboard EACR in the future.

In terms of mass, smoothness and compactness, modern piston HCU are quite competitive with rotary machines, and their characteristics such as ease of manufacture, low cost of maintenance, and maintainability make them attractive to many consumers and, above all, to the shipbuilding industry.

Adaptation of piston HCU to new applications and modern refrigerants is possible at relatively low costs. They are not so "finicky" to the purity of lubricants and do not require increased "sterility" during assembly, installation and repair. In addition, the restoration of worn surfaces does not require the use of highly sophisticated equipment and is quite feasible even in ship workshops.

Performance regulation by changing the speed, which is not yet generally accepted for piston HCU, when used extensively, will result in significant energy savings.

Spiral HCU have certain advantages. However, the complexity of the technology of manufacturing spiral machines, the large initial costs of their production, the stringent requirements for the accuracy of manufacturing the entire structure do not allow to reduce the cost and impede the development of their production by a wide range of enterprises. The development and production of these compressors can only afford the largest world companies.

Therefore, based on our capabilities, as well as taking into account foreign experience, we should continue to develop high-tech production in our factories, create and improve piston HCU. Domestic reciprocating HCU type HGV and HGN correspond to the level of the best samples of domestic and foreign equipment, have significant development potential, which will allow them to be successfully used in shipboard air conditioning and refrigeration equipment in the future.

REFERENCES

- [1] Martynovskiy V.S.; Brodyanskogo V.M. Tsikly, skhemy i kharakteristiki termotransformatorov [Cycles, charts and descriptions of thermotransformers] / Martynovskiy V.S.; Brodyanskogo V.M.. – M.: Energiya, 1979. – 288 p.
- [2] Yakobson V.B. Malyye kholodil'nyye mashiny [Small refrigeration machines] / V.B. Yakobson. – M: Food Industry, 1977. – 368 p.
- [3] Dorosh V.S. Tendencii v razvitii holodilnyh germetichnyh kompressorov sudovyh sistem kondicionirovaniya i refrizheracii [Trends in the development of refrigerated hermetic compressors of marine air conditioning and refrigeration systems] / V.S. Dorosh // Materiali I Mizhnar. n.-t. konf. "Holod v energetici i na transporti", ch. II. – Mikolayiv: NUK, 2008. – S. 132 – 144.

[4] Dorosh V.S. Vysokooborotnyj germetichnyj kompressor dlya sudovyh avtonomnyh kondicionerov [High-speed hermetic compressor for marine autonomous air conditioners] / V.S. Dorosh, Yu.K. Kolomiec, B.D. Redkozub // Holodilnaya tehnika. – 1975. – № 2. – S. 8 – 10.

[5] Dorosh V.S. Novyj ryad vysokooborotnyh germetichnyh holodilnyh kompressorov dlya sudovyh avtonomnyh kondicionerov [A new range of high-speed hermetic refrigeration compressors for marine autonomous air conditioners] / V.S. Dorosh, V.I. Gidulyan, V.Yu. Zaharov, Yu.K. Kolomiec // Holodilnaya tehnika. – 1983. – № 5. – S. 19–23.

[6] Yefektivne spivrobotnictvo [Effective cooperation] // Holod.– 2007. №3. – S. 36–37.

[7] Dorosh V.S. Germetichnye holodilnye mashyny dlya provizionnyh kladovyh [Hermetic refrigeration machines for food pantrys] / V.S. Dorosh, I.A. Nazarenko, E.V. Lytosh // Holodilnaya tehnika i tehnologiya. – Odessa: OGAH, 2005. – № 4 (96). – S.62 – 64.

УДК 629.5

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРІВ ФЛЕТТНЕРА У ЯКОСТІ ДОПОМІЖНИХ СУДНОВИХ РУШІЇВ ДЛЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

Тихонов Б. А.

*магістр кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Личко Б.М.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Рязанцев П.А.

*інженер-механік, випускник кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Міжнародна морська організація (ІМО), що регулює міжнародне судноплавство, бореться з тим, як контролювати викиди парникових газів (ПГ) з суден з 1997 року. Початкова стратегія передбачає підвищення оперативної ефективності міжнародних морських перевезень як середнього показника по флоту щонайменше на 40% до 2030 р. (порівняно з рівнями 2008 р.). В останні роки вітрила ротора використовувались на декількох комерційних судах, з одним новим корпусом і щонайменше трьома переобладнаннями лише в 2018 році, включаючи круїзне судно Viking Grace на 2800 пасажирів, загальне вантажне судно Pollux та танкер Maersk Pelican. Порівняльний аналіз показує, що застосування ротора Флеттнера у якості допоміжних рушіїв дозволить зменшити викиди в атмосферу за рахунок економії палива до 7,5%, що також призведе до економії фінансових витрат на паливо.

Ключові слова: ротори Флеттнера, альтернативні види енергії, зменшення викидів.

Основна частина. Німецьким авіаційним інженером і винахідником Антоном Флеттнером та його співвітчизником фізиком Генріхом Густавом Магнусом було встановлено, що при обертанні циліндра в потоці повітря виникає поперечна сила з напрямком, що залежать від напрямку обертання циліндра (ефект Магнуса). Він встановив на метрову випробувальну шлюпку паперовий циліндр-ротор висотою близько метра і діаметром 15 см, а для його обертання пристосував годинниковий механізм і шлюпка рушила з місця.

У 1924 році на 54-метровій шхуні «Букау» замість трьох щогл були змонтовані два роторних циліндра. Ці циліндри обертав дизельний генератор потужністю 45 л.с. Ротори «Букау» оберталися від електродвигунів. Власне, ніякої відмінності від класичних дослідів Магнуса в конструкції не було. З боку, де ротор обертався назустріч вітру, створювалася область підвищеного тиску, з протилежного – зниженого. Результуюча сила і рухала судно.

Одним з найвідоміших кораблів з вітряними роторами є E-Ship 1, який був спеціально побудований з чотирма вітровими вітрилами для транспортування лопатей вітрових турбін, веж та обладнання німецького виробника вітрогенераторів Enercon.

Наведена нижче методика у скороченому стані розроблена для ротора Флеттнера висотою 25 м (h) та діаметром 4,2 м (d) із співвідношенням сторін (відношення висоти ротора до діаметра ротора) 6. Змінні та координати визначені та названі на рисунку 1.

- F_x та F_y – це система, що генерується силами повітря.
- X і Y представляють глобальні координати, в яких рухається судно.
- x і y представляють місцеві координати.
- λ – кут дрейфу.
- γ – напрямок справжнього вітру.
- β – напрямок уявного вітру.

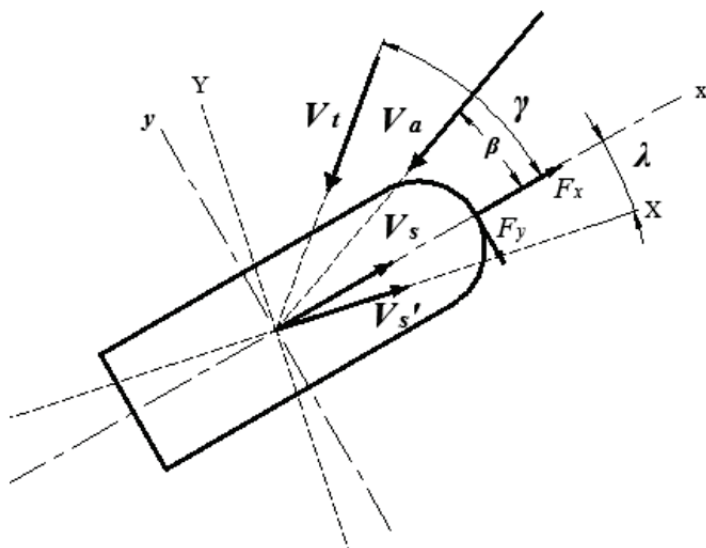


Рисунок 1. Розглянуті системи координат, сили та кути

Швидкість уявного вітру V_a визначається рівнянням:

$$V_a = \sqrt{V_t^2 + V_s^2 - 2V_t V_s \cos \gamma}$$

Для обчислення сумарної потужності, необхідної для обертання ротора, визначається сила тертя F_f задана рівнянням:

$$F_f = c_f \cdot \rho_A \cdot \frac{U_{rot}^2}{2} \cdot A_r$$

Потужність, необхідна для обертання ротора P_{con} , розраховується як:

$$P_{con} = F_f \cdot U_{rot}$$

Потужність системи (P_s) у напрямку судна обчислюється перемноженням F_x і швидкості судна V_s :

$$P_s = F_x \cdot V_s$$

Чиста вихідна потужність (P_{net}) системи:

$$P_{net} = (P_s - P_{con}) \times \eta_s$$

Початкові розрахунки проводяться з урахуванням вищезазначених констант та з рівнянь, згаданих раніше, при справжній швидкості вітру 5 м/с і швидкості судна 15 вузлів (або 7,71 м/с) при всіх справжніх кутах вітру від 0° до 360°. Продуктивність ротора Флеттнера залежить від швидкості судна, швидкості вітру, справжнього кута вітру та інших аеродинамічних параметрів, таких як коефіцієнт підйому, коефіцієнт опору та коефіцієнт обертання.

У таблиці нижче наведені дані для подальшої оптимізації результатів розрахунків та визначення чистого ефекту від роторів Флеттнера у реальних умовах.

Кут напрямку справжнього вітру, °	Кут напрямку справжнього вітру відносно руху судна, °	Ймовірність напрямку вітру, %			Чистий ефект від ротору Флеттнера, кВт		
		5 м/с	10 м/с	15 м/с	5 м/с	10 м/с	15 м/с
0	315	2,4	4,9	4,1	-6556	4782	3101
45	0	3,4	3,0	2,0	-185	-76	-19
90	45	2,8	1,1	1,9	-6556	4782	3101
135	90	3,1	1,0	2,5	5445	-277	-7891
180	135	2,7	2,9	2,9	12016	16505	-11268
225	180	3,1	5,0	4,5	-613	-1407	-1407
270	225	3,3	4,6	5,4	12016	16505	-11268
315	270	3,7	7,9	8,2	5445	-277	-7891

Згідно з результатів таблиці, у 54,1% випадків ефект є негативним, а в 32,3% випадків приносить ефект в залежності від швидкості та куту вітру.

Для контейнеровоза дедвейтом 65000 тонн з ГД потужністю 27700 кВт встановлення двох роторів Флеттнера висотою 12,5 м і діаметром 2,1 м дозволить знизити витрату палива та витрати на нього на рейсовій лінії 10000 миль у розмірі 223 т або 134 тис. дол., що становить 7,5% від загальної витрати палива та витрат на нього.

Література:

1. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт / В.П.Шостак, В.І.Гершанік, В.П.Кот, М.С.Бондаренко; за ред. В.П.Шостака: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 1997. – 57 с.
2. В.П.Шостак. Потoki енергії в дизельних установках морських суден: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 328 с.
3. The use of Flettner rotors in efficient ship design / Pearson, D.R. / 2014 / London, The Royal Institute of Naval Architects

ANALYSIS OF THE USE OF FLETTNER ROTORS AS AUXILIARY PROPELLERS FOR THE CONTAINER SHIP CCNI IQUIQUE

B.A. Tyhonov, B.M. Lychko, P.A. Riazantsev
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. The International Maritime Organization (IMO), which regulates international shipping, has been struggling to control greenhouse gas (GHG) emissions from ships since 1997. The initial strategy envisages increasing the operational efficiency of international maritime transport as a fleet average by at least 40% by 2030 (compared to 2008 levels). In recent years, rotor sails have been used on several commercial vessels, with one new hull and at least three conversions in 2018 alone, including the 2,800-passenger Viking Grace cruise ship, the Pollux general cargo ship and the Maersk Pelican tanker. Comparative analysis shows that the use of the Flettner rotor as auxiliary propulsion will reduce emissions by saving fuel by up to 20%, which will also save financial fuel costs.

Key words: Flettner rotors, alternative energy sources, emission reductions.

УДК 629.5.016

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА

Мадей В.В.

аспірант

Національного університету «Одеська морська академія»,

м. Одеса, Україна

v.madey@gmail.com

Анотація. Наведені результати експериментів, щодо впливу біопалива на та екологічні показники роботи суднового дизеля. Експериментально встановлено, що використання паливної суміші, яку складають дизельне паливо та 5 ... 20 % біопалива, в діапазоні навантажень на судновий дизель 55 ... 75 % призводить до 4,4 ... 24,3 % зниження емісії оксидів азоту та 4,1 ... 25,4 % зниження об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах.

Ключові слова: судновий дизель, біопаливо, емісія оксидів азоту, концентрація оксиду вуглецю в випускних газах

Сучасний розвиток енергетики та транспорту (у тому числі морського та річкового) є причиною постійного зростання споживання палива та відповідного зменшення його природних ресурсів. У даний час одночасно з проблемою поступового виснаження нафтових ресурсів актуальною є проблема забезпечення екологічності роботи суднових енергетичних установок і насамперед дизелів як найпоширеніших на морському і річковому транспорті теплових двигунів. Як варіант вирішення цих проблем є використання палива біологічного походження [1].

Використання подібного палива на морських судах обмежується автономністю плавання та неможливістю безперешкодного відновлення його запасів палива; високою потужністю суднової енергетичної установки та відповідно високими витратами палива; необхідністю в узгодженні всіх робіт із удосконалення паливної системи з кваліфікаційними товариствами, що здійснюють технічний контроль над судном та енергетичною установкою. Також необхідно визначити, що використання тільки біопалива для забезпечення робочого циклу суднового дизеля неможливе (передусім через його низьку теплотворну здатність), проте паливні суміші, що складаються з дизельного палива (як основного компонента) і біопалива з концентрацією до 20 ... 25 % (як домішки) отримали впровадження в судновій енергетиці [2].

З урахуванням викладеного, дослідження виконувались на спеціалізованому судні дедвейтом 10820 тонн, що здійснювало короткочасні (протягом 4 ... 6 днів) переходи між портами, в яких була передбачена можливість поповнення запасів біопалива. Вміст біопалива в паливної суміші змінювався в межах 5 ... 15 % від загального об'єму.

Дослідження виконувалися на суднових середньо-обертових дизелях 5DC-17A Daihatsu Diesel, що у кількості трьох штук входили до складу суднової допоміжної енергетичної установки. Принципова схема паливної системи дизелів показана на рис. 1.

Паливна цистерна одного з дизелів не змінювалась та цей дизель експлуатувався на паливі DMB (з в'язкістю 8 сСт і вмістом сірки 0,08 %) та вважався «контрольним». До паливних систем двох інших дизелів додатково встановлювалось обладнання, що дозволяло використовувати в них біопаливо. З витратної цистерни 1 паливо DMB через фільтр грубого очищення 2 прямувало до паливних насосів 4 дизелів 5. Додатково очищення палива забезпечувалось за допомогою фільтра 3. Контур подачі палива до першого дизеля не змінювався та дизель експлуатувався на паливі DMB. В'язкість палива дозволяє додавати в нього біопаливо (з в'язкістю 10 сСт). Вміст біопалива в паливній суміші змінювався в інтервалі 5 ... 20 %, паливна суміш подавалась до двох інших дизелів, в контур яких додатково встановлювалися цистерна біопалива 6, дозатор 7 і витратомір 9. Необхідна кількість біопалива в паливній суміші забезпечувалась за допомогою мікроконтролера 8.

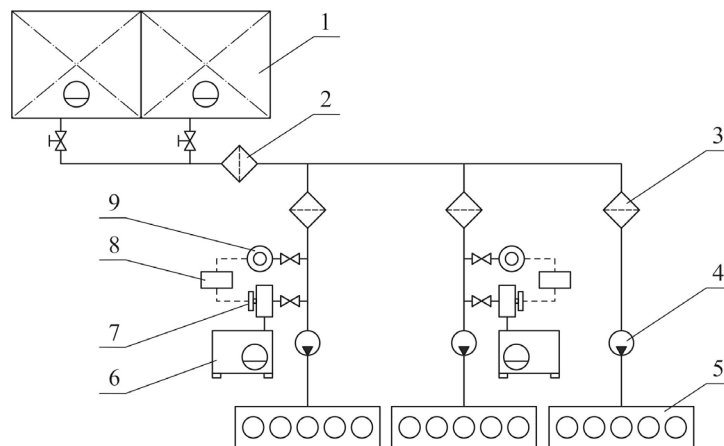


Рис. 1. Принципова схема паливної системи суднових дизелів

5DC-17A Daihatsu Diesel:

- 1 – витратна паливна цистерна; 2 – паливний фільтр грубого очищення;
- 3 – паливний фільтр тонкого очищення; 4 – паливний насос; 5 – дизель;
- 6 – цистерна біопалива; 7 – дозатор; 8 – мікроконтролер; 9 – витратомір

Метою дослідження було визначення впливу біопалива на екологічність суднового дизеля.

Як екологічні показники роботи суднових дизелів приймалися концентрація оксидів азоту C_{NO_x} та об'ємний вміст оксиду вуглецю C_{CO_2} [3].

Під час проведення дослідження для забезпечення споживачів енергією експлуатувався «контрольний» дизель (що використовував паливо DMB) та один, або два

інших (в яких використовувалась суміш палива DMB та біопалива). Дизелі, на яких виконувалися експериментальні дослідження, забезпечували потужністю постійні групи споживачів. При цьому (залежно від досліджуваних режимів) їх потужність становила 270 кВт, 320 кВт, 365 кВт, 415 кВт, що відповідало навантаженню $0,55N_{\text{еном}}$, $0,65N_{\text{еном}}$, $0,75N_{\text{еном}}$, $0,85N_{\text{еном}}$. Похибка в навантаженні під час переходу дизеля з одного сталого режиму до іншого не перевищувала $\pm 1,5\%$.

Перед початком проведення експерименту всі дизелі мали порівняний моторесурс паливної апаратури, деталей циліндрової групи, підшипників руху, а також однаковий технічний стан. Це забезпечувало коректність проведення досліджень і можливість зіставлення вимірів, виконаних на різних дизелях.

Відносні зміни концентрації оксидів азоту ΔNO_x та об'ємного вмісту оксиду вуглецю ΔCO_2 в випускних газах відображені на рис. 2.

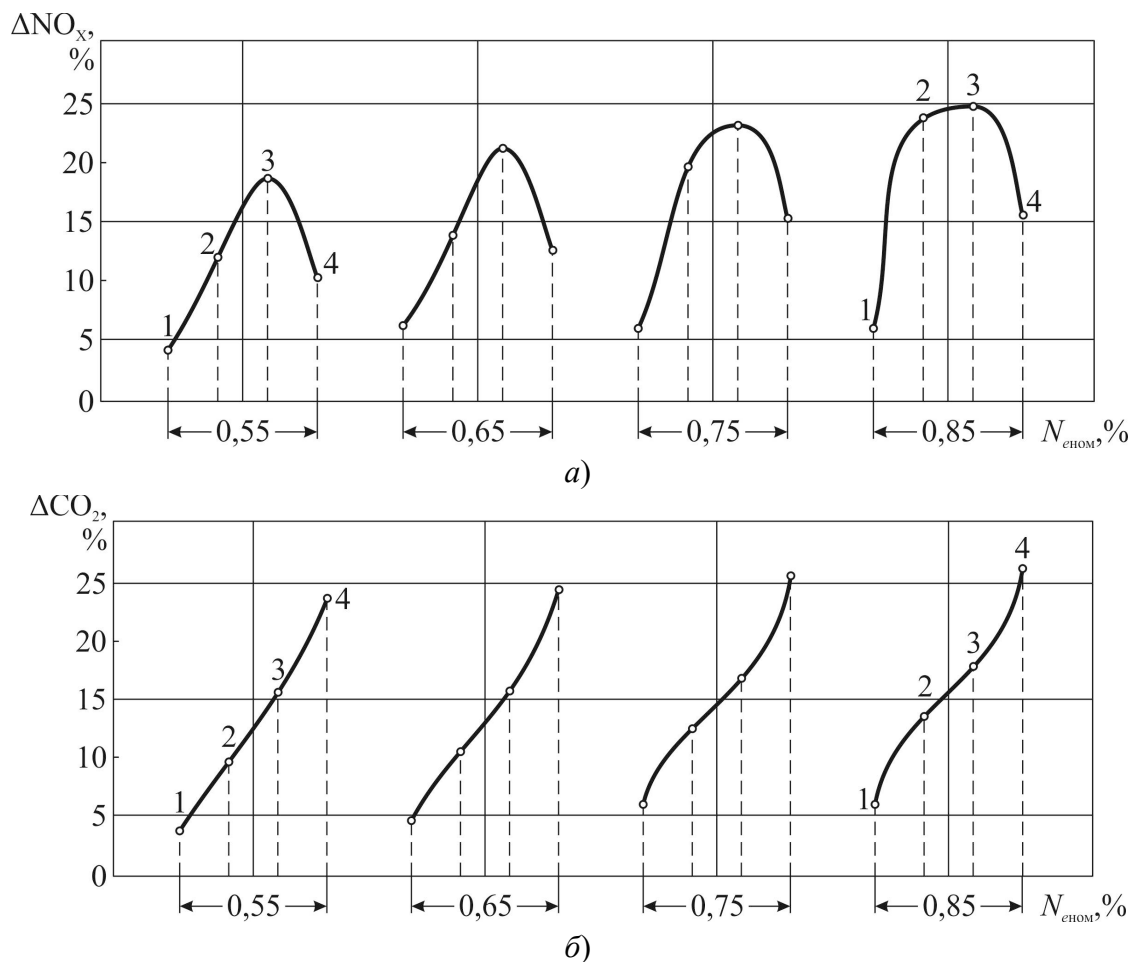


Рис. 2. Відносна зміна показників роботи дизеля 5DC-17A від навантаження під час використання палива різного складу: 1 – DMB+5 % біопалива;

2 – DMB+10 %; 3 – DMB+15 %; 4 – DMB+20 % біопалива

а – зменшення емісії оксидів азоту; б – зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

- під час експлуатації дизеля на діапазоні навантаженні 55 ... 85 % спостерігається зменшення емісії оксидів азоту, при цьому найбільший ефект (до 23,8 ... 24,3 %) відповідає 10 ... 15 % вмісту біопалива в суміші; з зростанням вмісту біопалива в складі суміші до 20 % зниження емісії оксидів азоту знаходиться в діапазоні 10,1 ... 15,2 %;
- використання біопалива сприяє зменшенню об'ємної концентрації оксиду вуглецю у випускних газах; найбільша ефективність при цьому відповідає навантаженню 75 ... 85 % та використання паливної суміші, що містить 20 % біопалива, за таких умов зниження концентрації оксиду вуглецю досягає 25,4 %;
- оптимальний склад паливної суміші, що містить біопаливо, доцільно визначати для кожного навантаження дизеля з урахуванням його екологічних показників.

Література:

1. Madey V. V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2021. – № 7 – 8. – P. 18 – 21.
2. Марков В.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Неверова В.В., Са Бовэнь. Метилловый эфир рапсового масла как дизельное топливо // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6(60). – С. 17 – 30.
3. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5(2(61)). – P. 26-32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.

ENSURING THE ENVIRONMENTAL OF MARINE DIESELS WHEN USING BIOFUELS

Maday V.V.

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The influence of biodiesel on the economic and environmental performance of marine diesel engines is considered. It is experimentally established that the use of a fuel mixture consisting of diesel fuel and 5 ... 20 % biofuel in the range of loads on marine diesel 55 ... 75 % leads to 4.4 ... 24.3% reduction of nitrogen oxides and 4.1 ... 25.4 % reduction in the volumetric content of carbon monoxide in the exhaust gases.

Keywords: marine diesel, biofuel, nitrogen oxide emissions, carbon monoxide concentration in exhaust gases

УДК 621.234

ПІДТРИМКА ГУСТИНИ ТА СЕДИМЕНТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТЕХНІЧНИХ РІДИН, ЩО ТРАНСПОРТУЮТЬСЯ МОРСЬКИМИ СУДНАМИ

Мар'янов Д. М.

аспірант

Національного університету «Одеська морська академія»,

м. Одеса, Україна

denismaryanovv@gmail.com

Анотація. Розглянуто процес зміни густини та седиментаційної стійкості бурильних суспензій, що перевозяться на морських спеціалізованих судах. Експериментально встановлено, що седиментаційна стійкість може досягати 31 %. Запобігання зміни густини та седиментаційної стійкості запропоновано забезпечити за рахунок створення примусової циркуляції бурильної суспензії між вантажними танками, що знаходяться поруч друг з другом.

Ключові слова: бурильна суспензія, густина, седиментаційна стійкість, спеціалізоване морське судно

Перевезення, що виконуються суднами морського та річкового флоту, не обмежуються об'ємними (контейнерами, металічним прокатом, обладнанням та ін.), насипними (зерном, добривом та ін.) та наливними (в першу чергу нафтопродуктами) вантажами. Існує клас спеціалізованих суден, що забезпечує постачання нафтодобувних платформ технічними рідинами, які використовуються для мащення та охолодження бурових пристроїв та видалення з зону буріння твердого, глинистого або піщаного ґрунту. Ці технічні рідини (бурильні суспензії) є дисперсними системами, їх основу (дисперсне середовище) складають мінеральні мастила, дисперсною фазою є неорганічні з'єднання, питома вага яких перевищує питому вагу мінерального масла. Це забезпечує підвищення триботехнічних характеристик бурильних суспензій та знижує енергетичні втрати під час виконання бурових робіт. Під час транспортування технічних рідини (бурильних суспензій) морськими судами відбувається поступове осадження дисперсної фази і зміна густини та седиментаційної стійкості бурильної суспензії по глибині вантажного танка. Наслідком цього є утворення осаду, що збільшує гідравлічні опору на судочинство транспортування бурильної суспензії і зміна функціональних властивостей бурильної суспензії, що обмежує можливість її подальшого використання.

Викладене підтверджує актуальність розв'язання завдання з підтримання густини та седиментаційної стійкості бурильної суспензії під час її транспортування морськими суднами.

Дослідження виконувалися на судні класу PSV дедвейтом 5650 тонн, яке здійснювало 2 ... 2,5 денні переходи від порту до бурової платформи з можливим очікуванням безпосереднього підходу до платформи протягом 1 ... 1,5 днів. Транспортування бурильної суспензії здійснювалася в чотирьох одно розмірних танках, попарно розташованих з кожного борту судна (рис. 1).

Протягом зазначеного проміжку часу (переходу і очікування) відбувається процес седиментації бурильної суспензії та її розшарування по глибині вантажного танка. З метою мінімізації цього негативного явища суднова система перевезення бурильної суспензії модернізувалась за рахунок установки додаткових трубопроводів, які забезпечували Х-подібну циркуляцію суспензії в танках) Забезпечення цієї технології вказано на рис. 2. Вимірювання густини бурильної суспензії виконувалося на глибині, відповідній 10-ти, 50-ти і 90% загальної глибини танка ($0,1h$, $0,5h$, $0,9h$ на рис. 2). Як контрольний параметр приймалася седиментація бурильної суспензії $\Delta\rho$, яка визначалася як відносна зміна густини на глибині 10 і 90 % загальної глибини танка за виразом

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{90} - \rho_{10}}{\rho_{90}} 100\%,$$

де ρ_{90} , ρ_{10} – густина на глибині 90 і 10 % загальної глибини вантажного танка відповідно, кг/м^3 .

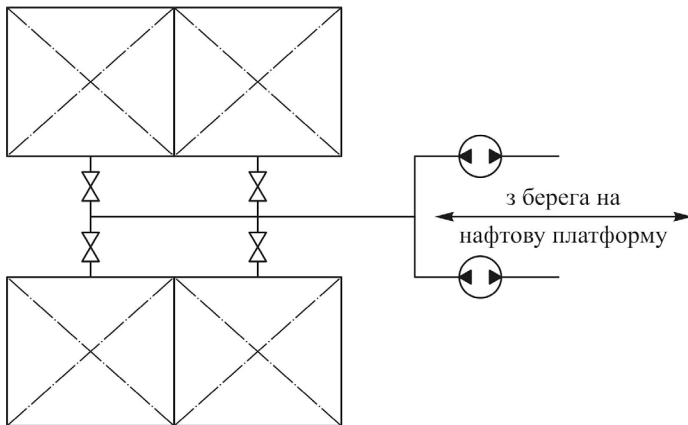


Рис. 1. Принципова схема системи зберігання, транспортування і передачі бурильної суспензії

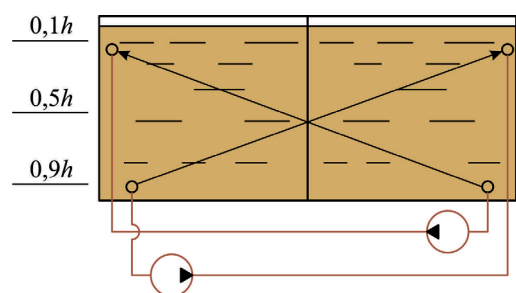


Рис. 2. Технологія забезпечення Х-подібної циркуляції бурильної суспензії в вантажних танках

Значення густини в попарно розташованих сусідніх танках (двох без додаткової циркуляції і двох з Х-подібної циркуляцією) усереднювалися. Час виконання комплексу вимірювань не перевищувало 10 хв. Отримані значення вносилися до програми персонального комп'ютера, за допомогою якого виконувався розрахунок седиментації і

видавався керуючий сигнал на контролер, який забезпечував включення / вимикання циркуляційних насосів. В даний час не існує рекомендацій з підтримки значення седиментації бурильної суспензії. Ця величина була обрана рівної 7 % з урахуванням досвіду експлуатації суднових систем перевезення бурильних суспензій і результатів попередніх досліджень [1, 2]. Таким чином, в разі, коли значення седиментації перевищувало 7 %, система автоматичного регулювання забезпечувала Х-подібну циркуляцію бурильної суспензії між сусідніми танками. Циркуляція припинялася, коли значення седиментації не перевищувало 2 %. Зміна густини та седиментації бурильної суспензії для різних умов її транспортування, показані на рис. 3.

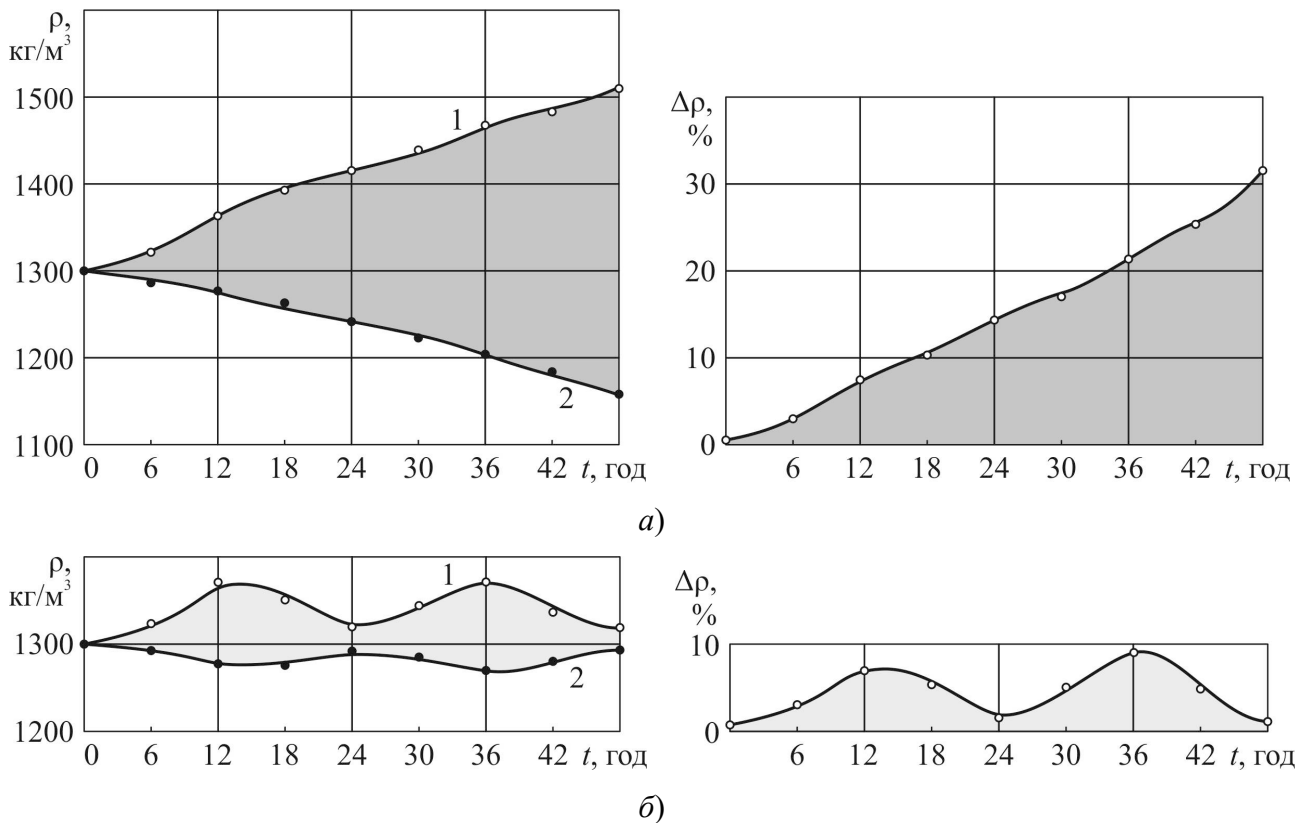


Рис. 3. Зміна густини, ρ , кг/м^3 , та седиментації, $\Delta\rho$, %, бурильної суспензії для різних умов її транспортування:

а – транспортування без модернізації конструкції системи, *б* – транспортування з додатковою Х-подібною циркуляцією

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

Бурильні суспензії, перевезення яких на бурові нафтовидобувні платформи здійснюється морськими суднами, є багатокомпонентними технічними рідинами. Їх перебування в статичному стані призводить до латентного зміни густини та седиментації по глибині вантажного танка. Седиментація бурильної суспензії по глибині вантажного танка за час її транспортування на бурову платформу (до 48 годин) може досягати 31 %. Одним з

методів, що запобігають цей негативний процес, є створення додаткової примусової Х-подібної циркуляції бурильної суспензії. Її забезпечують циркуляційні насоси по магістралях, що з'єднують донну і верхню частини вантажних танків, що знаходяться поруч один з одним.

Для підтримання експлуатаційних характеристик бурильної суспензії та забезпечення функціонування системи транспортування бурильної суспензії необхідно автоматично підтримувати значення седиментації бурильної суспензії в діапазоні 2 ... 7 %. Це підвищує однорідне стан бурильної суспензії, підтримує її густину та сприяє зниженню седиментації по глибині вантажного танка. Процес додаткової циркуляції бурильної суспензії раціонально забезпечувати до моменту, коли її седиментація досягне значення 2 %.

Література:

1. Карьянский С.А., Марьянов Д.Н. Обеспечение эксплуатационных характеристик высокоплотных технических жидкостей при их транспортировке морскими судами // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту : зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 97-105.
2. Maryanov D. Development of a method for maintaining the performance of drilling fluids during transportation by Platform Supply Vessel // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – № 5 (2(61)). – P. 15–20.

MAINTENANCE OF DENSITY AND SEDIMENTATION STABILITY OF TECHNICAL LIQUIDS TRANSPORTED BY SEA VESSELS

Maryanov Denys

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The process of changing the density and sedimentation stability of drilling fluid transported on specialized marine vessels is considered. It has been experimentally established that sedimentation resistance can reach 31 %. It is proposed to prevent the change of density and sedimentation stability by creating a forced circulation of drilling slurry between cargo tanks adjacent to each other.

Key words: drilling fluid, density, sedimentation stability, specialized sea vessel

УДК 621.785

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ КОСОЗУБИХ КОЛІС ТА КОНІЧНИХ ШЕСТЕРЕНЬ

Ніколаєв О. Л.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
aleksnikolaiev@gmail.com*

Поліщук В. А.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
vitpolishchuk@gmail.com*

Сич А. В.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Ніколаєнко Є. О.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Руденко М. Ю.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. В роботі запропоновано газову вакуумну цементацію з загартуванням для підвищення якості зубчастих коліс з легованих сталей, а також попередню лазерну обробку за сітчасто-стілниковою схемою передньої поверхні інструменту з азотованим покриттям для підвищення його контактної втомної міцності.

Ключові слова: сталь Р6М5, дискретна лазерна обробка, сітчасто-стілникова схема обробки, азотування, зносостійкість.

Для забезпечення високих експлуатаційних властивостей зубчасті колеса піддають хіміко-термічній обробці (ХТО). Хіміко-термічна обробка являє собою сукупність процесів теплового і хімічного впливів, спрямованих на зміну хімічного складу і структури поверхневого шару зубчастих коліс. Вона характеризується введенням в поверхневий шар металу завдяки хімічній реакції різних елементів із зовнішнього середовища: вуглецю, азоту, кисню, кремнію тощо. При цьому на поверхні зубчастих коліс утворюється твердий дифузний шар, який у міру поглиблення характеризується падінням концентрації дифундуючих елементів і мікротвердості. Для ефективного зміцнення поверхні зубчастих коліс часто застосовують цементацію і нітроцементацію, рідше азотування.

Контактна витривалість зубів характеризується опором типовим відмовам робочих поверхонь зубів: пітінгу (викришування поверхонь зубів у вигляді ямок) і мікротріщинам, а також зносу під дією контактних напружень. При цьому велике значення має рівномірний знос по всій поверхні зуба, який досягається за рахунок модифікацій за профілем і довжиною зуба. Так звана «пляма контакту» -- площа контакту на поверхні зубів при зачепленні повинна займати максимальну площу, але не виходити на крайки зубів навіть при максимальних навантаженнях.

Підвищенню опору поверхонь зубів зносу під дією контактних напружень сприяє також наявність у поверхневих шарах зубів залишкових внутрішніх напружень стиску глибиною до 0,02 мм.

Основними перевагами процесів цементації і нітроцементації в порівнянні з азотуванням є: широкий діапазон регулювання товщини зміцненого шару; можливість проведення ХТО зубчастих коліс з низько- і середньолегованих сталей; висока продуктивність ХТО зубчастих коліс з можливістю проведення загартування після підстужування або безпосередньо з температури дифузійного насичення; високі показники згинальної і контактної витривалості зубів [1].

Зубчасті колеса з низько- і середньолегованих сталей після цементації і гартування поверхні до HRC 55...63 при концентрації вуглецю 0,8...1,1%, а серцевина зберігає в'язку структуру з твердістю HRC 33...45, стійку до ударних навантажень. Для коліс, що працюють при високих контактних навантаженнях, концентрацію вуглецю в поверхневих шарах зубів збільшують до 1,1...1,4% без підвищення твердості. Товщина цементованого шару (відстань від бічної поверхні зуба до шарів металу з твердістю $HRC \leq 51$) залежить головним чином від модуля зубчастого колеса і в середньому становить 0,2 мм. При необхідності, наприклад, з метою підвищення міцності зубчастих коліс або збільшення припуску на чистову обробку після ХТО, товщина цементованого шару може бути збільшена.

У зв'язку з цим останнім часом все більш широке застосування отримує газова вакуумна цементація. При цьому найкращі результати були досягнуті при застосуванні вакуумної цементації в комбінації з наступним загартуванням газом (гелій, азот) під високим тиском.

Оскільки газова вакуумна цементація з подальшим загартуванням дозволяє знизити похибки норм кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубів і бічного зазору в середньому на 20-25% в порівнянні з атмосферною цементацією і загартуванням в масло, то величина припуску на сторону зуба знизилася на 10-15%. Це дозволило збільшити продуктивність чистової обробки, зубошліфування і знизити вплив «технологічної спадковості» на точність виготовлення.

Причиною виходу із ладу різального інструменту (більше 80%) є не його поломка, а поверхнєве руйнування і, перш за все, механізм зношування. Поверхнєві покриття дозволяють підвищити довговічність різального інструмента в 2...10 разів.

Захисні покриття на інструментах широко використовуються. Для зміцнення інструментальних сталей, наприклад Р6М5, широко застосовується азотування. Проте суттєвим недоліком процесу азотування можна вважати тривалість обробки, невисоку якість отриманого поверхневого дифузійного шару і недостатню зносостійкість.

Згідно запропонованого способу формується комбіноване покриття, що виконує дві функції: тонкий, пластичний, азотований шар на незміцненій попередньо лазером поверхні екранує безпосередній контакт матеріалів трибоспряження і забезпечує протікання процесу припрацювання з утворенням специфічних вторинних структур з високою стійкістю до температурно-силових впливів контактного фрикційного процесу. Дискретно зміцнені з високою твердістю азотовані ділянки забезпечують мінімальні напруження при терті та високу експлуатаційну зносостійкість.

Даний спосіб отримання зносостійких азотованих шарів включає лазерну обробку дискретно із площею обробки 15...80% від загальної площі сталевого виробу з наступним азотуванням в середовищі аміаку.

В запропонованому способі з метою підвищення втомної міцності лазерну обробку здійснюють дискретно за сітчасто-стілниковою схемою з кроком 3...5 мм [2]. Така попередня лазерна обробка дозволяє при наступному азотуванні отримати дискретні азотовані шари із сітчасто-стілниковою схемою зміцнення. Товсті, за рахунок попередньої лазерної обробки дискретно азотовані шари, і тонкі пластичні шари на ділянках без лазерної обробки. Дана схема зміцнення поверхневого шару металу буде підвищувати контактну втомну міцність виробу з покриттям. Це обумовлено створенням такого напружено-деформованого стану, який забезпечує мінімальні напруження при терті, що встановлено аналітичними розрахунками, а також підтверджено експериментально.

На отримані зразки зі зміцненою поверхнею наносять азотоване покриття. Поєднання ділянок з різною твердістю і товщиною покриття створює такий напружено-деформований стан, який забезпечує мінімальні напруження при терті. Мінімальна площа обробки 15...20% забезпечує антифрикційність, а максимальна 70...75% – зносостійкість і несучу здатність за номінального і допустимого навантаження відповідно.

Товщина та мікротвердість азотованого шару на сталі Р6М5 становила: на ділянках з лазерною обробкою h_1 – 0,32 мм, 12500 МПа і на ділянках без лазерної обробки h_2 – 0,015 мм, 9200 МПа.

Зносостійкість пластин, оброблених дискретною лазерною обробкою за схемою стільникового типу вища, ніж зносостійкість пластин, оброблених за схемою острівного типу в 1,4...1,7 рази.

Висновки. 1. Газова вакуумна цементация в комбінації з загартуванням забезпечує зубчастим колесам з легованих сталей високі показники твердості поверхні HRC 58-63, контактної (300-1650 Н/мм²) і згинальної (320-540 Н/мм²) витривалості зубів. Основні переваги цієї технології: зниження деформацій зубів гіпоїдної шестерні, що дозволяє на 10-15% знизити величину припусків на зубах, підвищити продуктивність зубошліфування після ХТО і зменшити вплив «технологічної спадковості» на точність виготовлення шестерні; зменшення деформації вала і відсутність забруднень (сліди сажі і пригару) після ХТО, характерних для цементации в атмосферних печах і загартування в масло, дозволяє виключити з технологічного процесу операції правки та мийки заготовок.

2. Попередня лазерна обробка прискорює процеси дифузії азоту в поверхневі шари різального інструменту; на ділянках з лазерною обробкою товщина азотованого шару становить 0,32 мм, а на ділянках без лазерної обробки – 0,015 мм; завдяки зміцненню поверхневого шару попередньою лазерною обробкою за сітчасто-стілниковою схемою підвищується контактна втомна міцність інструменту з азотованим покриттям. Це досягається завдяки створенню сприятливого напружено-деформованого стану; зносостійкість сталі Р6М5 обробленої комбінованою лазерно-хіміко-термічною обробкою у виробничих умовах показали підвищення зносостійкості різального інструменту зміцненого дискретною лазерною обробкою за сітчасто-стілниковою схемою в 1,4 – 1,7 рази в порівнянні з обробленим за схемою острівного типу. Це обумовлено тим, що дискретні ділянки з різною твердістю і товщиною сприяють припрацьовуваності покриття і мінімізують напруження при терті.

Литература:

1. Калашников А. С., Моргунов Ю. А., Калашников П. А. Химико-термическая обработка зубчатых колес с использованием газовой вакуумной цементации. Инженерный журнал. 2013. № 10.—С. 12–16.
2. Загребельний В.В. Підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей комбінованою лазерно-хіміко-термічною обробкою. Проблеми трибології. 2016. № 3 С.59-63.

MANUFACTURING TECHNOLOGY IMPROVEMENT OF SPIRAL WHEELS AND BEVEL GEARS

Polishchuk Vitaliy, Nikolaev Alexander, Sych A.V., Nikolaenko E.A., Rudenko M.Y.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The paper proposes gas vacuum cementation with hardening to improve the quality of alloy steel gears, as well as pre-laser treatment according to the mesh-cell scheme of the tool front surface with nitrided coating to increase its contact fatigue strength.

Keywords: P6M5 steel, discrete laser processing, mesh-cell processing scheme, nitriding, wear resistance.

УДК 621.981

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРФОРУВАННЯ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Новошицький А. В.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

novtsm@gmail.com

Бражник І.Б., Рибальченко В.П., Тусова І.В.

магістранти кафедри інженерної механіки та технології машинобудування

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. В роботі наведена технологія перфорування і відповідне технологічне обладнання для виготовлення перфорованих і профільованих тонкостінних довгомірних деталей суднових конструкцій.

Ключові слова: перфоровані тонкостінні деталі, панелі, суднові конструкції, технологія виготовлення.

Сучасне суднобудівне виробництво характеризується необхідністю використання великої номенклатури тонкостінних деталей і панелей у тому числі перфорованих із сучасних високоміцних корозійностійких сталей, конструкційних і легованих сталей, алюмінієвих сплавів і металопласту.

Традиційні технології виготовлення таких деталей прокаткою і штампуванням є енергоємними й у ряді випадків не можуть забезпечити необхідну якість виготовлених деталей та економічну доцільність.

У сучасних умовах раціональним є виробництво тонкостінних профільних перфорованих деталей безпосередньо на суднобудівному підприємстві на основі технології профілювання гнуттям з поздовжнім розтягом [1]. Технологія перфорування і профілювання передбачає послідовну локальну формозміну і перфорацію розтягнутої заготовки профілюючими роликами, що мають потрібну форму та виступи з ріжучими кромками та відповідні заглибини, [2].

Технологічний процес виготовлення профілю зі штабової або листової заготовки передбачає проведення наступних операцій: розміщення заготовки між захватами; деформування і затискання кінцевих ділянок; розтяг заготовки; подача каретки з профілюючими роликами до рухомого захвату; змикання профілюючих роликів і заготовки; переміщення каретки з профілюючими роликами до нерухомого захвату (формування та перфорування профілю); розвантаження; розмикання профілюючих роликів і захватів; виймання готового профілю, рис. 1.

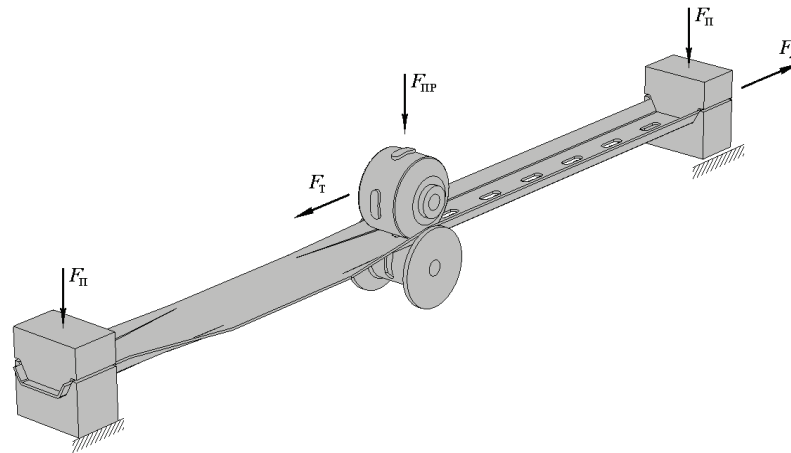


Рис. 1. Технологічний процес виготовлення профілю

Початок контакту роликів із заготовкою відбувається біля рухомого захвату в районі кінцевих згинальних деформацій, що виникають у результаті деформування кінцевої ділянки заготовки в захватах силою F_{Π} і наступного додавання сили розтягу F_Z . При прикладенні зусиль притиску $F_{\Pi P}$ до профілюючих роликів здійснюється деформування і перфорація ділянки заготовки відповідно до форми робочих поверхонь роликів. У результаті переміщення роликів під дією зусилля F_T здійснюється послідовне формування і перфорування профілю.

Створення навантаження розтягу забезпечує оптимальні умови формоутворення профілю. При її дії, полки профілю здобувають прямолінійну форму. Поздовжні пластичні деформації від поперечного вигину заготовки компенсуються в результаті її деякого пластичного розтягу. Це попереджає виникнення поздовжньої зігнутості, а також поздовжньої скрученості навіть при формуванні профілів з несиметричним поперечним перерізом.

Запропонована технологія може здійснюватися за допомогою спеціальної розтяжної машини [3], що має механізм для деформування і затиску кінцевих ділянок заготовки, механізм розтягання, механізм пересування каретки з профілюючими роликами, рис. 2.

Перфоровані листи для вентиляції, сепарації та ін. можуть бути виготовлені з круглими, квадратними, фігурними отворами, з різноманітним їх розташуванням та різним рівнем перфорації, рис. 3.

На гофрованих листах отвори можливо виконувати на різних ділянках і навіть на гранях гофрів. Листи можуть входити у склад тришарових спеціальних модуль-панелей. Один із листів такої панелі суцільний, а другий профільований перфорований. Простір між листами заповнюється полімерним наповнювачем, рис. 4. Такі модуль-панелі мають високу

шумопоглинаючу здатність і можуть застосовуватися для приміщень з великим рівнем шуму.

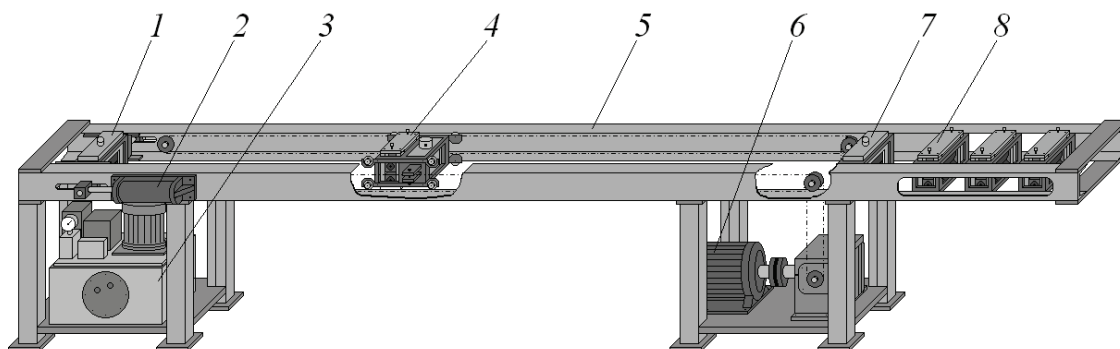


Рис. 2. Розтяжна машина:

1 – головка затискна тягнуча; 2 – гідроциліндри; 3 – гідростанція; 4 – рухома каретка; 5 – станина; 6 – механізм переміщення каретки; 7 – головка затискна нерухома; 8 – гнізда з роликами попереднього деформування

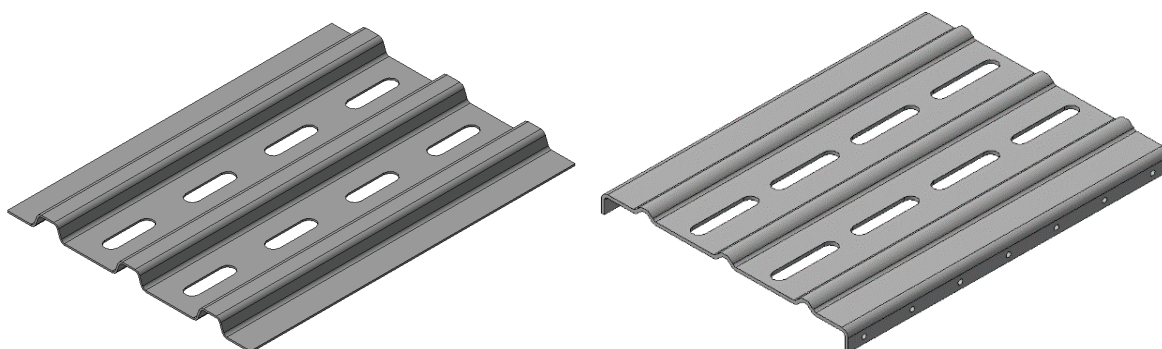


Рис. 3. Перфоровані листи

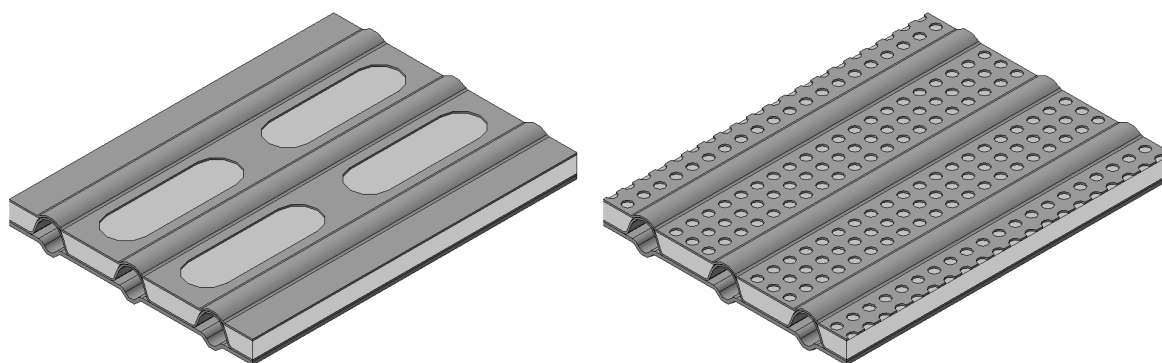


Рис. 4. Модуль-панелі з наповнювачем

Гнуті плоскі, U-подібні С-подібні, зетові та ін. профільні деталі з отворами різної форми зручні для збирання-кріплення трубопроводів, вентиляційних каналів, каналів кабель-трас, рис. 5.

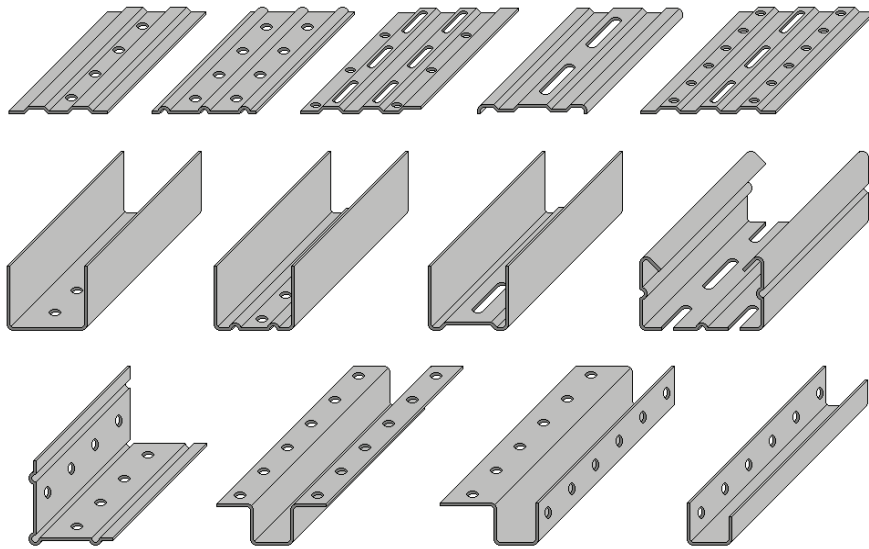


Рис. 5. Гнуті профілі малих перетинів

Декоративні модуль-панелі з металопласту застосовуються для оздоблення суднових приміщень, машинних відділень, облаштування надбудов.

Висновок. Технологія профілювання з поздовжнім розтягом забезпечує можливість виготовлення високоточних довгомірних перфорованих профільних деталей суднових конструкцій із сучасних високоміцних корозійностійких сталей, конструкційних і легованих сталей, алюмінієвих сплавів і металопласту.

Література:

1. Технология изготовления модульных конструкций малотоннажных судов [Текст] : монография / А. В. Новошицкий. – Николаев : издательство Швец В. М., 2021. – 164 с.
2. Патент на корисну модель. 82746 Україна, МПК (2013.01) В 21 D 5/00, В 21 D 11/20 (2006.01), В 21 D 53/00. Спосіб виготовлення гнутих перфорованих профілів [Текст] / О. С. Рашковський, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № u201300570 ; заявл. 17.01.13 ; опубл. 12.08.13, Бюл. № 15.
3. Декл. пат. 43149А Україна, МПК7 В 21 D 5/00, В 21 D 11/20. Розтяжна машина [Текст] / С. М. Соловйов, А. В. Новошицький ; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова. – № 2001031675 ; заявл. 12.03.01 ; опубл. 15.11.01, Бюл. № 10.

TECHNOLOGY OF PERFORATING THIN-WALLED PARTS OF SHIP STRUCTURES

Novoshytskyi Anton Volodymyrovych

Associate professor of the department of engineering mechanics and technology of mechanical engineering. Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Abstract. The paper presents the technology of perforation and the corresponding technological equipment for the manufacture of perforated and profiled thin-walled long parts of ship structures.

Perforated thin-walled parts, panels, ship structures, manufacturing technology.

УДК 004.942:621.548:620.928

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Подгуренко В.С.

кандидат технических наук,

*доцент кафедры эксплуатации судовых энергетических установок и теплоэнергетики
Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев,
Украина*

vspodgurenko@gmail.com

Терехов В.Е.

*аспирант Института проблем моделирования в энергетике имени Г.Е. Пухова, г. Киев,
Украина*

vl.terekhov86@gmail.com

Аннотация. По результатам многолетних ветроизмерений в Северном Причерноморье Украины и с использованием характеристик мощности 43-х ветроэлектрических установок мировых производителей разработана математическая модель определения годовой выработки и установлена её многофакторная зависимость. Сопоставление прогнозных выработок электроэнергии ветропарков США и Украины показало, что ориентация только на показатель номинальной мощности ветроэлектрических установок приводит к снижению эффективности их работы.

Ключевые слова. Ветроэлектрическая установка, номинальная мощность, диаметр ветроколеса, высота оси, коэффициент использования установленной мощности

Важнейшая научно-прикладная проблема – повышение эффективности ветроиспользования – в мире решается в основном увеличением номинальной мощности ветроэлектрических установок (ВЭУ). Анализ многочисленных научных исследований указывает на установившуюся мировую тенденцию непрерывного увеличения их мощности. Так, за 20 лет (1980 – 2000 гг.) развития мировой ветроэнергетики мощности ВЭУ возросли практически в 100 раз [1], что увеличило производство электроэнергии в 250 раз [2]. Рост мощностей ВЭУ продолжается, достигнув двухзначных значений МВт.

Украина не остается в стороне от мировых тенденций. Начиная с 2010 г., после введения «зеленого» тарифа и начала строительства промышленных ветроэлектрических станций (ВЭС), в Украине происходит непрерывный рост мощностей ВЭУ начиная с 2,5 МВт в 2011 г., вплоть до 4,8 МВт, введенных в эксплуатацию в 2020 г.

Но вот единственный ли это путь повышения эффективности и пригоден ли он к различным регионам строительства ВЭС, в частности для Украины, – вопрос открытый и требует дополнительных исследований.

В поиске ответов на поставленный вопрос нами на Аджигольской пилотной ВЭС (АВЭС) исследовано распределение вероятностей ветра по градациям скоростей за период

18-летних замеров на репрезентативной метеостанции военного аэродрома, а также замеров скорости и направления ветра прибором Logger #9200 за 26 месяцев на различных высотах.

Зная ветропотенциал, мы условно разместили в нем 43 ВЭУ большой мощности ведущих мировых производителей и определили прогнозные объемы годовой выработки ими электроэнергии, естественно, с учетом пересчета градаций скоростей ветра на высоты осей исследуемых ВЭУ.

Основываясь на полученных результатах с применением компьютерного исследования получена математическая модель (ММ) годового производства электроэнергии в МВт·ч, устанавливающая количественную зависимость расчетной выработки электроэнергии конкретной ВЭУ от различных факторов [3, 4]:

$$Q = -7126,25 + 1348,594 \cdot P + 97,52617 \cdot D + 28,81139 \cdot H. \quad (1)$$

Её смысл:

– повышение номинальной мощности ВЭУ P на 1 МВт ведет к повышению годовой выработки на 1349 МВт·ч;

– повышение диаметра ветроколеса (ВК) D на 1 м ведет к повышению годовой выработки на 98 МВт·ч;

– повышение высоты оси ВК H на 1 м ведет к увеличению выработки на 29 МВт·ч.

Важнейшая отличительная особенность полученной ММ заключается в использовании при её разработке фактических многолетних реальных замеров скоростей ветра и их распределений вероятностей по градациям на площадке АВЭС. И в этом главное полученных показателей от тех гипотетических, которые использовали различные исследователи ранее.

С использованием впервые полученной ММ определены теоретические годовые выработки ВЭУ ветропарков Украины, условно размещенных в ветровые условия пилотной АВЭС и определена их эффективность работы согласно критерию коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) (таблица 1).

КИУМ является интегральным показателем, характеризующим как правильность выбора площадок для ВЭС, так и подбора ВЭУ для них, а в итоге – результативность работы той или иной промышленной ВЭС. Отсюда вполне естественная заинтересованность в увеличении производства «зелёной» электроэнергии и коэффициента использования установленной мощности. Именно поэтому КИУМ считается главным показателем эффективности работы ветропарков.

Показатели ВЭУ украинских ветропарков

№ п/п	ВЭУ		Q, МВт·ч	КИУМ, %
1	FL 2500 – 100	$P = 2,5; D = 100; H = 100$	8 879	40,5
2	WTU 3.0	$P = 3,0; D = 120; H = 100$	11 504	43,8
3	V 112	$P = 3,075; D = 112; H = 94$	10 652	39,5
4	V 112	$P = 3,075; D = 112; H = 119$	11 372	42,2
5	WTU 3.2	$P = 3,2; D = 120; H = 100$	11 774	42,0
6	V 112	$P = 3,3; D = 112; H = 94$	10 955	37,9
7	WTU 3.3	$P = 3,3; D = 120; H = 100$	11 908	41,2
8	V 126	$P = 3,45; D = 126; H = 117$	13 186	43,6
9	WTU 3.5	$P = 3,5; D = 138; H = 100$	13 934	45,4
10	GE 3.6	$P = 3,6; D = 137; H = 131$	14 864	47,1
11	V 126	$P = 3,65; D = 126; H = 117$	13 455	42,1
12	V 136	$P = 3,65; D = 136; H = 120$	14 517	45,4
13	V 126	$P = 3,8; D = 126; H = 112$	13 514	40,6
14	GE 3.8	$P = 3,8; D = 137; H = 110$	14 529	43,6
15	WTU 4.5	$P = 4,5; D = 151; H = 120$	17 126	43,4
16	WTU 4.8	$P = 4,8; D = 151; H = 120$	17 531	41,7

Для дальнейшего сопоставительного анализа полученных результатов привлечена статистика по усредненным параметрам ВЭУ ветропарков США с 2012 по 2018 гг. [5] с последующей её экстраполяцией до 2021 г. и по ММ (1) определены их показатели производительности в условиях Северного Причерноморья Украины (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, в отличие от Украины в США не спешат с осваиванием ВЭУ большой мощности. При сохранении имеющейся тенденции к 2022 г. средняя мощность устанавливаемых ВЭУ в США не превысит отметки в 3 МВт, успешно преодоленной украинской компанией ДТЭК (Ботиевская ВЭС) еще в 2013 г. При этом эффективность работы ветропарков США в 2021 г. ожидаемо превысит отметку КИУМ в 49 % – как видно из таблицы 1 пока недостижимый показатель для эксплуатируемых в Украине ВЭУ.

Показатели ВЭУ ветропарков США

№ п/п	Год	ВЭУ	Q, МВт·ч	КИУМ, %
1	2012	$P = 1,95; D = 93,4; H = 83,8$	7 027	41,1
2	2013	$P = 1,86; D = 96,9; H = 80,5$	7 152	43,9
3	2014	$P = 1,94; D = 99,5; H = 82,7$	7 576	44,6
4	2015	$P = 2,01; D = 102,4; H = 82,4$	7 945	45,1
5	2016	$P = 2,15; D = 108,2; H = 83,0$	8 717	46,3
6	2017	$P = 2,32; D = 113,0; H = 86,0$	9 501	46,7
7	2018	$P = 2,43; D = 115,6; H = 88,1$	9 963	46,8
8	2019	$P = 2,59; D = 122,5; H = 89,1$	10 876	48,0
9	2020	$P = 2,73; D = 127,8; H = 90,7$	11 633	48,6
10	2021	$P = 2,87; D = 133,1; H = 92,2$	12 390	49,2

Таблицы 1 и 2 наглядно показывают, что при грамотном подборе параметров, объем годовой выработки ВЭУ меньшей мощности будет превышать соответствующие объемы ВЭУ большей мощности, то есть ориентация только на показатель номинальной мощности приведет к значительным потерям в производстве электроэнергии.

Литература:

1. Wind Energy. The Facts Executive Summary. Brussels: EWEA, 2004. 13 p.
2. Corin Millais. Parties and Predictions: Wind Directions, 2002. P. 4.
3. Подгуренко В. С., Гетманец О.М., Терехов В.Е. Повышение эффективности производства электроэнергии ветроэлектрической установкой на основе математического моделирования. Київ: Електронне моделювання, №2. 2020, С. 121 – 127.
4. Подгуренко В. С., Гетманец О.М., Терехов В.Е. Математическая модель задачи эффективности и один из методов её решения для увеличения выработки электроэнергии ветроэлектростанциями. Київ: Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ИПМЕ ім. Г.Є. Пухова, вип. 86. 2019, С. 50 – 55.
5. 2018 Wind Technologies Market Report. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/eere/wind/downloads/2018-wind-technologies-market-report>

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF WIND TURBINE

Podhurenko V. S.

PhD,

Associate Professor of the Ship Power Plants Operation and Heat-Power Engineering” Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

vspodgurenko@gmail.com

Terekhov V. Ye.

Postgraduate G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

vl.terekhov86@gmail.com

Abstract. Based on the results of long-term wind measurements in the Northern Black Sea region of Ukraine and the power characteristics of 43 wind turbine of world manufacturers, a mathematical model for determining the annual energy production has been developed and its multifactorial dependence has been established. Comparison of the forecasted annual energy production of wind farms in the United States and Ukraine has shown that focusing only on the indicator of the rated power of wind turbine leads to a decrease in their efficiency.

Key words. Wind turbine, rated power, rotor diameter, hub height, capacity factor

УДК 621.3-838:656

ТЕПЛОВА ПІДГОТОВКА ДВИГУНА СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПОРТОВОГО БУКСИРУ

Грицук І.В.¹ *д.т.н. проф.*, Погорлецький Д.С.¹ *к.т.н.*, Худяков І.В.² *к.т.н.*,
Акімов О.В.¹ *к.т.н. доц.*, Білай А.В.³

¹ Херсонська державна морська академія; ² Херсонська державна морська академія;

³ Маріупольський будівельний фаховий коледж

¹ Україна, м Херсон; ² Україна, м Херсон; ³ Україна, м Херсон

¹ gritsuk_iv@ukr.net, ² dimon150582@gmail.com, ³ igor.khudiakov563@gmail.com,
abelay1981@gmail.com

Анотація. На даний час в портових містах експлуатується велика кількість різноманітних за призначенням суден портового флоту, які забезпечують вирішення основних цільових завдань. При цьому більшість двигунів суднових енергетичних установок (СЕУ) за своїми техніко-економічними показниками не відповідають сучасним вимогам з паливної економічності та екологічним показникам. Дана обставина робить проблему підвищення ефективності СЕУ суден портового флоту вельми актуальною. Один з перспективних напрямків модернізації системи охолодження двигунів енергетичних установок суден портового флоту є впровадження сучасних ресурсо та енергозберігаючих технологій теплового акумулювання в їх конструкцію з метою збільшення продуктивності праці та їх адаптації до сучасних умов експлуатації. За рахунок чого передбачається підвищення ефективності роботи двигунів СЕУ і поліпшення їх основних показників, до яких, слід віднести показники потужності, екологічності та економічності з боку витрати палива.

Ключові слова. тепловий акумулятор; тепла підготовка; система теплової підготовки; паливна економічність; екологічні показники.

Вступ. Актуальними є запропоновані методи для режимів роботи двигунів СЕУ, коли потрібні значні витрати енергії для підтримання їх теплового стану в умовах експлуатації, а саме передпусковий та післяпусковий прогрів двигуна СЕУ та зберігання прогрітого двигуна для здійснення пуску в різних умовах експлуатації. Вирішальним фактором є невелика вартість пристроїв для здійснення теплової підготовки двигунів СЕУ, застосування екологічно чистих технологій теплового акумулювання енергії відпрацьованих газів, отримання повної потужності відразу після пуску двигуна, паливна економічність, зниження викидів відпрацьованих газів під час теплової підготовки двигуна СЕУ портового буксиру.

Зупиняючими факторами в роботах даного напрямку є масо-габаритні характеристики пристроїв теплового акумулювання енергії, компактне їх розміщення в машинному відділенні СЕУ. В зв'язку з цим, актуальною стає розробка та формування системи теплової підготовки для вирішення визначених проблем в конструкції системи охолодження двигуна і суднової енергетичної установки [1-5].

Перспективним напрямком в даному випадку буде встановлення системи теплової підготовки двигуна СЕУ (портового буксиру) з тепловими акумуляторами (ТА) фазового переходу для покращення його передпускового та після пускового прогріву в умовах експлуатації. З огляду на це була розглянута можливість модернізації системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301, за рахунок встановлення до системи охолодження теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП), який заряджатиметься від відпрацьованих газів двигуна під час його роботи. А під час стоянки судна на рейді або в порту, буде можливим використання накопиченої теплової енергії ТА для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без використання стандартних способів підігріву (електропідігрівач, котел) [1-4].

Основна частина. Підтримання заданої температури системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301 для його пускової та післяпускової теплової підготовки можливе за рахунок накопиченої теплової енергії ТА, не використовуючи електропідігрівач або котел. Запропоноване рішення стосується встановлення в систему охолодження додаткових елементів: насоса, клапанів, теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП), з допомогою яких буде виконана тепла підготовка двигуна СЕУ без його запуску [1-4].

До системи випуску відпрацьованих газів встановлено електричні клапани, трубопроводи, електричний насос та теплообмінник, за допомогою чого здійснюється накопичення теплової енергії відпрацьованих газів у ТАФП. Пропонована модернізація системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301 не ускладнює процес складання та розбирання системи, час на обслуговування та ремонтні роботи системи охолодження є однаковим для базового та пропонованого варіантів. Удосконалення системи охолодження

суднового двигуна MAN D2876 LE301 можливо виконати під час проведення поточних ремонтних робіт, це надасть можливість уникнути простою судна [1-5].

Під'єднання до системи охолодження ТАФП, та до системи випуску відпрацьованих газів (ВГ) здійснювалось за допомогою додаткового теплообмінника (настроєного для роботи з потоком відпрацьованих газів не більше 40%) в системі випуску двигуна і керованих відсічних клапанів (заслінок), а до системи охолодження двигуна відповідно здійснювалось через додаткові з'єднувальні патрубки до блоку циліндра двигуна. Особлива увага при цьому була приділена передпусковій та після пускової підготовці суднового двигуна.

За основу був обраний тепловий акумулятор раніше розроблений та використаний в роботах д.т.н. професора Грицука І.В., з теплоакумулюючим матеріалом (ТАМ) фазового переходу, його корпус виконано із нержавіючої сталі й він має одну основну секцію з теплообмінником, що виготовлено із латуні [1-5]. У корпусі ТА є два патрубки, поєднані з компенсаторами теплового розширення ТАМ і входом термопар. З метою зниження втрат теплової енергії в процесі випробувань зовнішня поверхня ТА була теплоізольована подвійним шаром спіненого поліетилену, покритим із двох боків шарами алюмінієвої фольги [1]. Тепловий акумулятор це пристрій, який забезпечують зворотні процеси накопичення, збереження та вироблення теплової енергії. Процеси акумулювання теплоти відбуваються шляхом зміни фізичних параметрів теплоакумулюючого матеріалу та за рахунок використання енергії зв'язку атомів і молекул речовин.

Масогабаритні параметри та характеристики теплового акумулятора були підібрані згідно технічним характеристикам системи охолодження, було змінено розташування місць під'єднання до системи охолодження двигуна, та системи викиду відпрацьованих газів, це було зроблено для більш компактного розташування ТА в машинному відділенні судна та забезпечення безпеки [1-5].

Система прогріву двигуна СЕУ з системою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів ТАФП входить, як складова, до системи охолодження та забезпечує прогрів до робочої температури обумовлену робочим процесом та конструкцією двигуна. Принцип роботи полягає в накопиченні теплової енергії ВГ, утвореної при згорянні палива. Накопичення теплової енергії в ТАФП можливе завдяки встановленому у випускному трубопроводі двигуна теплообмінного апарату, який зв'язаний з ТА трубопроводом, по якому за допомогою насоса, відбувається циркуляція теплоносія системи утилізації теплової енергії. Теплоносій проходить через теплообмінник у випускному трубопроводі розігрівається до температури 150...200°C. У якості теплоносія можливо використовувати безпечну рідину, яка має температуру кипіння 220...360°C.

Теплообмінний апарат встановлено в байпас випускного трубопроводу, паралельно основному трубопроводу, таке рішення прийнято для того, щоб була можливість для його відключення після зарядки ТА. Перемикання потоку відбувається за допомогою клапанів з електроприводами [1-4]. Теплоносій, з утилізатору теплової енергії ВГ, потрапляє в ТАФП, це теплоізований резервуар з двома теплообмінниками (для заряджання та розряджання), який заповнений фазоперехідним теплоакумуючим матеріалом (ТАМ). Теплоносій циркулює через теплообмінник заряджаючи ТА, при проходженні теплообмінника через ТА, теплоносій охолоджується та віддає накопичену теплову енергію ТАМ. У процесах накопичення теплової енергії ТАМ найкращу ефективність має процес фазового переходу – наповнювача ТА, зміна його агрегатного стану, на це потрібно затратити велику кількість енергії. В якості ТАМ доцільно використовувати речовину, яка має температуру фазового переходу в межах коливань температури теплоносія, заряджаючого ТА[1-3]. Завдяки теплоізоляції маємо можливість тривалого зберігання накопиченої теплової енергії в ТА [1-4]. Під час запуску двигуна СЕУ після тривалої стоянки запускається система прогріву СДВЗ. Відбувається включення системи передпускового прогріву перед запуском двигуна, вмикається електричний циркуляційний насос, який здійснює циркуляцію охолоджуючої рідини через двигун та ТАФП[1-5].

Циркулюючи через ТА охолоджуюча рідина отримує накопичену ТАМ теплову енергію та передає її двигуну. ТАФП дозволяє виконати попередній прогрів двигуна СЕУ з температури оточуючого середовища до температури $+50^{\circ}\text{C}$. Вибір теплової потужності робиться на основі розрахунку теплового балансу системи комбінованого прогріву СДВЗ, він відображає необхідну кількість теплової енергії для прогріву охолоджуючої рідини СДВЗ, блоку циліндрів, головки блоку циліндрів, патрубків, трубопроводів а також теплових втрат[1-4]. Отримавши теплову енергію від охолоджуючої рідини елементи СДВЗ передають її маслу та до камери згорання, це позитивно впливає на процес пуску СДВЗ, після того, як датчики системи прогріву СДВЗ зафіксують температуру системи охолодження у межах $+40...50^{\circ}\text{C}$ [1-3].

Після цього відбудеться запуск СДВЗ, після пуску СДВЗ система прогріву продовжить свою роботу та сприятиме ефективному прогріву двигуна СЕУ до робочої температури системи охолодження $+85^{\circ}\text{C}$. Це виконується за рахунок подальшого використання накопиченої теплової енергії в ТА [1-5]. Після досягнення температури системи охолодження $+85^{\circ}\text{C}$ система прогріву переходить в режим підтримання температури в заданих межах $85\pm 5^{\circ}\text{C}$. Враховуючи дані отримані від датчиків температур система керування прогрівом СДВЗ розраховує частоту обертання циркуляційного насоса та віддає команди на клапани системи, спрямовуючи рідину через ті чи інші елементи системи

прогріву[1-4]. Графічне зображення залежності зміни температури охолоджуючої рідини двигуна СЕУ в залежності від витраченого часу теплової підготовки представлено на (рис.1).

Висновки. У даній роботі було запропоновано можливість модернізації системи охолодження суднового двигуна MAN D2876 LE301 портового буксиру за допомогою встановлення ТАФП до системи охолодження, який заряджатиметься від відпрацьованих газів двигуна під час його роботи. А в проміжках часу стоянки судна в порту або на рейді, використовувати накопичену теплову енергію ТА для підтримання системи охолодження в заданих температурних межах без використання стандартних способів підігріву СДВЗ.

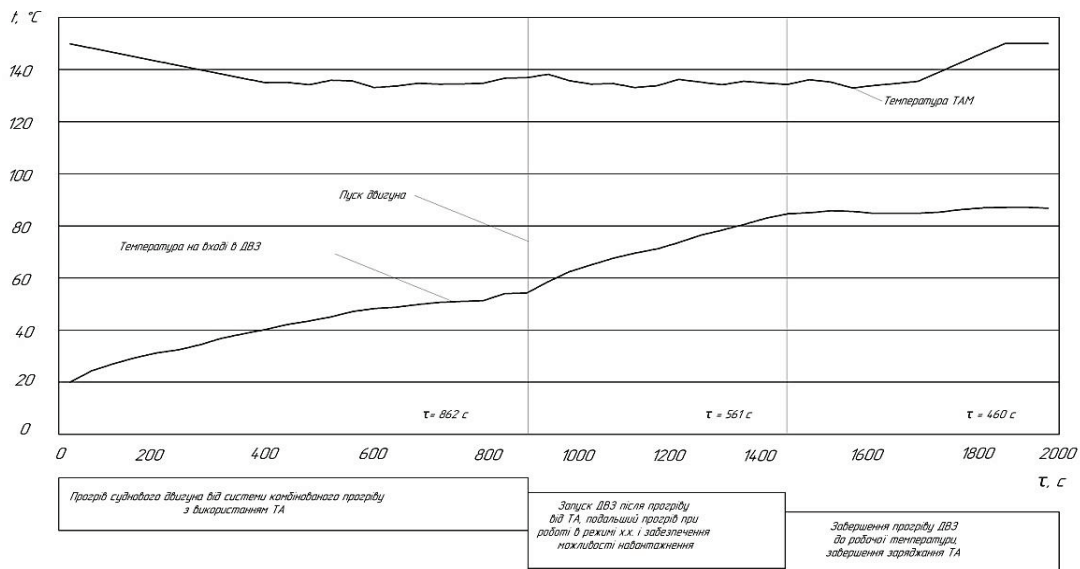


Рисунок 1 – Графік залежності зміни температури охолоджуючої рідини двигуна СЕУ

Представлено можливість використання технології теплової підготовки суднового двигуна буксира портового флоту у різних кліматичних умовах експлуатації судна, для зменшення часу для запуску двигуна СЕУ, зменшення витрати палива та викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище, так як СДВЗ під час стоянки в порту не працює а судно живиться електроенергією від берегової електромережі.

Література:

1. Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Худяков І.В., Дзигар А.К., Волков В.В. Теплова підготовка двигуна енергетичної установки судна портового флоту. Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту: матеріали XI Міжн. наук.-практ. конф. Ізмаїл, 3-4 грудня 2020 р.
2. І.В. Грицук, Погорлецький Д.С., В.С. Вербовський, О.М. Вольська, О.В. Вербовський, А.Ф. Сімагін. Забезпечення теплової підготовки двигуна енергетичної установки за допомогою системи прогріву з фазоперехідними тепловими акумуляторами:

матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої пам'яті професорів Фоміна Ю.Я. і Семенова В.С., 24-28 квітня 2019 р, Одеса (Україна) – Стамбул (Туреччина) – Одеса (Україна), Одесса, ОНМУ.

3. Погорлецкий Д.С., Худяков И.В., Грицук И.В., Манжелей В.С. Тепловая подготовка двигателя судовой энергетической установки для улучшения топливной экономичности. Научные труды Азербайджанской государственной морской академии. № 3, Баку – 2019 г. ISSN 2220-1025.

4. Погорлецкий Д.С., Грицук І.В., Симоненко Р. В., Білай А. В., Котов А. І. Формування системи теплової підготовки транспортного засобу, працюючого на зрідженому газовому паливі: матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 150-літтю від дня народження Некрасова Івана Степановича, м. Миколаїв, 26–27 листопада 2020 р. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

5. І.В. Грицук, Д.С. Погорлецкий, Р.В. Симоненко. Особливості формування системи теплової підготовки двохпаливних транспортних засобів, працюючих на рідкому нафтовому паливі і зрідженому нафтовому газі. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту [Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції] : збірник наукових праць. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – С. 112.

THERMAL PREPARATION OF THE ENGINE OF THE MARINE POWER PLANT OF THE PORT TUG

Gritsuk Igor Valerievich., Pohorletskyi Dmytro Serhiiovych., Khudiakov Igor Valentinovich., Akimov Oleksandr Viktorovich, Bilai Anton Viktorovich

Kherson State Maritime Academy, Mariupol Construction Vocational College

Abstract: Currently, port cities operate a large number of different purpose vessels of the port fleet, which provide solutions to the main objectives. At the same time, most of the engines of ship power plants (SEU) in their technical and economic indicators do not meet modern requirements for fuel economy and environmental performance. This circumstance makes the problem of increasing the efficiency of the SEU of port fleet vessels very relevant. One of the promising areas of modernization of the cooling system of engines of power plants of port fleet is the introduction of modern resource and energy-saving technologies of heat storage in their design in order to increase productivity and adapt to modern operating conditions. Due to which it is expected to increase the efficiency of SEU engines and improve their basic indicators, which include indicators of power, environmental friendliness and fuel efficiency.

Keywords: heat accumulator; thermal preparation; thermal preparation system; fuel efficiency; environmental indicators.

УДК 621.9.06.004.1:658.512.2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОЇ ЯКОСТІ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТОСУВАНЬ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Поліщук В. А.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
vitpolishchuk@gmail.com*

Ніколаєв О. Л.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
aleksnikolaiev@gmail.com*

Зомов Я. А.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Кобельчук О.О.

*магістрант кафедри інженерної механіки та технології машинобудування
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. В роботі виконано аналіз системи показників динамічної якості переналагоджуваних верстатних пристосувань та розглянуто можливості покращення їх експлуатаційних характеристик шляхом технологічного забезпечення показників жорсткості та вібростійкості їх конструкцій. Розглянуто зміни затискної здатності пристосування під впливом вібрацій в умовах обробки.

Ключові слова: переналагоджувана технологічна оснастка; динамічні похибки; вібрація; жорсткість конструкції; точність обробки.

Динамічні характеристики верстатних пристосувань, що є складовою частиною пружної технологічної системи, впливають на її динамічні якості та на досягнення заданої точності механічної обробки. Цей вплив проявляється при близькості власних частот елементів пристосування і елементів головного контуру зв'язку динаміки технологічної системи через вплив парціальних коливальних контурів.

У той же час пристосування мають автономність, тобто одне і те ж пристосування може бути встановлено на різних верстатах. Тому вважаємо доцільним ввести єдину систему показників динамічної якості пристосувань. Враховуючи автономність пристосувань, вважаємо, що вони повинні мати специфічні, характерні тільки для них динамічні показники, а саме: жорсткість, приведену до положення закріпленої заготовки; точність (здатність

забезпечувати і зберігати задане положення заготовки в процесі обробки); стійкість пружної системи пристосування при змінних навантаженнях з певним розмахом коливань сил різання в процесі обробки.

Одним з основних показників якості для універсально-складаних пристосувань (УСП), який впливає на точність роботи, вібростійкість, надійність, є жорсткість. З огляду на велику кількість стиків і спряжень в конструкціях УСП, врахування впливу жорсткості на їх експлуатаційні властивості є необхідним і обов'язковим. Несталість зусиль різання та змінність жорсткості верстатних пристосувань й інших елементів технологічної системи зумовлюють виникнення вібрацій, які підвищують шорсткість оброблюваної поверхні, погіршують умови роботи ріжучого інструмента та посилюють динамічний характер сили різання. Тому вібростійкість – одна з найважливіших експлуатаційних властивостей пристосування при обробці точних деталей, що визначає його динаміку. Динамічні параметри пристосування можуть суттєво змінювати параметри всієї технологічної системи і, головним чином, впливати на положення заготовки в просторі, що прямо пов'язано з точністю і якістю обробки. Тому дослідження експлуатаційних параметрів переналагоджуваних пристосувань, пов'язаних з жорсткістю та вібростійкістю їх конструкцій, є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є аналіз системи показників динамічної якості та покращення експлуатаційних характеристик УСП шляхом технологічного забезпечення показників жорсткості та вібростійкості конструкцій пристосувань. Об'єкт дослідження – комплекс УСП для закріплення заготовок; статична та динамічна точність при експлуатації переналагоджуваної оснастки. Предмет дослідження – твердотільні 3D-моделі конструкцій УСП, їх параметри жорсткості та вібростійкості; затискна здатність верстатного пристосування.

Статистичні дані по відмовам пристосувань, які на сьогодні є основним джерелом інформації для висновків щодо надійності, зібрати складно. Тому не статистичні дані, а розрахунок, моделювання і прогнозування можливих змін параметрів пристосування в очікуваних умовах експлуатації, технологічне забезпечення заданих показників якості, зокрема жорсткості і вібростійкості, є основою для управління надійністю пристосування і забезпечення її необхідного рівня.

Питання коливань технологічної системи при накладенні зовнішніх збурень при різанні є одним з найважливіших для розрахунків точності та продуктивності обробки і разом з тим дотепер не до кінця вирішеним. Незважаючи на те, що розроблено фундаментальні теорії оцінки вібростійкості верстатів, конструктори зазнають значних труднощів при розрахунках динамічних параметрів верстатних пристосувань. Вважаючи їх

другорядними елементами технологічної системи, дослідники мало приділяли їм уваги, чим пояснюється майже повна відсутність теоретичних і прикладних робіт в цій області.

На підставі виробничих спостережень і даних досліджень [1] до динамічних похибок пристосувань слід віднести наступні: $\varepsilon_n(t)$ – похибки зносу базових елементів, що змінюють положення заготовок у часі; $\varepsilon_T(t)$ – похибки пристосування, викликані температурними деформаціями; $\varepsilon_{\text{кол}}$ – похибки, обумовлені коливаннями технологічної системи і визначаються власними динамічними характеристиками пристосувань: масами, пружностями і демпфуючими властивостями. Тому коливання, в свою чергу, викликають похибки від інерційних сил ($\varepsilon_{\text{ін}}$), похибки демпфування в стиках ($\varepsilon_{\text{дем}}$), похибки, викликані пластичними деформаціями в стиках пристосування під дією нормальних вібрацій при різанні ($\varepsilon_{\text{плN}}$), похибки, викликані тією ж природою, але коливаннями, дотичними до площини контакту ($\varepsilon_{\text{плт}}$). Методику розрахунку похибок $\varepsilon_{\text{плN}}$ і $\varepsilon_{\text{плт}}$ викладено у [2].

В роботі вирішувались наступні задачі: розробка технологічного процесу механічної обробки деталі; комплексне оснащення розробленого технологічного процесу із застосуванням системи УСП; твердотільне 3D-моделювання конструкцій УСП; визначення напружень і деформацій, що виникають під дією зусиль різання, у спроектованих конструкціях УСП шляхом дослідження 3D-моделей оснастки за допомогою САЕ-систем; корегування конструкцій пристосувань з метою підвищення жорсткості; визначення частот власних коливань системи пристосування-деталь за допомогою САЕ-системи; корегування конструкцій пристосувань або режимів різання для підвищення вібростійкості системи та зменшення впливу вібрацій від зусиль різання.

Як окрему експлуатаційну властивість було розглянуто затискну здатність пристосування, яка характеризується особливостями затискних механізмів і полягає в надійному закріпленні, що попереджує вібрацію і зсув заготовки при обробці. При цьому для достовірної оцінки величини зусиль закріплення враховувалися зміни характеристик тертя в умовах обробки під впливом вібрацій.

Висновок. Підводячи підсумки огляду динамічних складових похибки установки, слід зазначити, що більшість з них піддаються точному математичному розрахунку, що дає можливість створення математичної моделі і дозволяє розробити розрахункові програми для вирішення задач автоматизації розрахунків точності верстатних пристосувань.

В результаті досліджень були також запропоновані аналітичні залежності для визначення значень ефективного коефіцієнта тертя при коливаннях для опорних елементів пристосувань (порівняно зі статичним коефіцієнтом тертя). Використовуючи ці залежності конструктор-проектувальник верстатних пристосувань може вводити в розрахунки зусиль

затиску заготовки ефективні коефіцієнти тертя, що дозволяє передбачати вплив коливань в технологічній системі.

Література:

1. Поліщук В.А., Вижул Н.В., Григорович М.В. Дослідження динаміки універсально-складаних верстатних пристосувань, Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: VIII міжнародна науково-технічна конференція. Миколаїв : НУК, 2017.—С. 62.
2. Ильицкий В.Б., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств. М. : Машиностроение, 1989. 208 с.

DYNAMIC QUALITY INDICATORS SYSTEM ANALYSIS OF UNIVERSAL ASSEMBLY TOOLS FOR PARTS MACHINING

Polishchuk Vitaliy, Nikolaev Alexander, Zomov Yagmyr

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. In the paper the dynamic quality indicators system analysis of re-adaptable machine tools is performed and their operational characteristics improving possibility by providing technological parameters of rigidity and vibration resistance of their structures is discussed. Changes in the clamping ability of the tools under the vibrations influence in processing conditions are considered.

Keywords: reconfigurable technological equipment; dynamic errors; vibration; rigidity of a design; processing accuracy.

УДК 621.438

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ГАЗОДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Проскурін А. Ю.

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація»

arkadii.proskurin@nuos.edu.ua

Довбенко М. М.

викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Цуркан І. О., Матвєєв В. В.

магістранти кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація»

Куліков А. М.

магістрант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. Запропоновано модернізувати систему подачі газового палива, яка забезпечує високі економічні та експлуатаційні показники роботи двигунів. Паливна система дозволяє забезпечити роботу на рідкому і газоподібному паливі, забезпечує сприятливу послідовність введення різних палив в камеру згоряння при роботі в режимі газодизеля. Автоматично погоджує кількість палива, що подається з режимом роботи газодизеля за рахунок штатного регулятора частоти обертання, підвищує рівномірність розподілу газоподібного палива по циліндрах.

Ключові слова: паливна система, газове паливо, ПНВТ, форсунка.

Проблема економії рідких палив залишається однією з найгостріших. Збільшення споживання рідкого палива на транспорті супроводжується виснаженням добре освоєних і зручно розташованих нафтових родовищ, внаслідок чого доводиться освоювати нові родовища, розташовані у важкодоступних районах. Це, в свою чергу, призводить до подорожчання як сирий нафти, так і одержуваних з неї нафтопродуктів.

Тим часом існують великі запаси високоякісного моторного палива, що не потребує для використання в двигунах ніякої хімічної переробки. Мова йде про природний газ. Як моторне паливо природний газ у натуральному вигляді перевершує нафтове паливо. При використанні його в транспортних двигунах забезпечуються високі техніко-економічні показники таких машин, так як природний газ має хороші антидетонаційні якості, сприятливі умови сумішоутворення і широкі межі займання в суміші з повітрям.

Відомі системи подачі рідкого і газоподібного палива в газодизельний двигун, що містять односекційний паливний насос, який нагнітає 5...10% дизельного палива або моторного масла в змішувач лінії низького тиску системи подачі палива скрапленого газу, охолоджувач газу з регулюючим клапаном, встановленим на трубопровід низького тиску

безпосередньо перед паливним насосом високого тиску (ПНВТ) [1]. Недоліком цих систем подачі палива і газу є наявність додаткового односекційного насоса з форсункою, а також її підвищена пожежонебезпека, обумовлена витоками скрапленого газу через зазори плунжерних пар, і їх випаровування в лінії низького тиску.

Також відома система подачі палива газодизеля з внутрішнім сумішоутворенням, що містить паливний насос високого тиску з нагнітальним клапаном, трубопровід високого тиску, форсунку закритого типу з надігольною і підігольною порожнинами, джерела дизельного палива і нафтового скрапленого газу, лінії підведення і відсічення подачі дизельного палива, трубопровід подачі нафтового зрідженого газу і зворотний клапан, причому з підігольною порожниною форсунки пов'язаний паливний насос високого тиску і трубопроводом подачі нафтового скрапленого газу через зворотний клапан – джерело нафтового скрапленого газу, система забезпечена пристроєм для регулювання тиску, джерело нафтового скрапленого газу трубопроводом подачі газу пов'язаний з підігольною порожниною форсунки через її надігольну порожнину, виконану герметично замкнутою і містить вхід трубопроводу подачі нафтового скрапленого газу та його вихід до зворотного клапана. Недоліком системи є відсутність регулювання складу суміші і послідовності введення різних палив в камеру згорання газодизеля [2].

Пропонується підвищити ефективність системи живлення газодизельних двигунів за рахунок забезпечення суворої послідовності введення рідкого і газоподібного палива з використанням штатного ПНВТ з регулятором частоти обертання [3]. Це досягається тим, що система подачі рідкого і газоподібного палива в двигуні містить паливний насос високого тиску, двухканальну форсунку, джерела дизельного палива і газу з лініями підведення, притому на лініях між двоканальною форсункою, паливним насосом високого тиску і джерелом газу є установлений дозатор дизельного і газоподібного палива в рідкій фазі, що включає основний плунжер з упором і додатковий, що утворюють три порожнини, притому канал, що з'єднує паливний насос високого тиску з верхньою порожниною дозатора, забезпечений нагнітальним клапаном подвійної дії, при цьому канали, що з'єднують середню і нижню порожнини дозатора з двоканальною форсункою, забезпечені зворотними клапанами об'ємної дії, а середня і нижня порожнини з'єднані відповідно з лініями підведення скрапленого газу і дизельного палива.

Система живлення дозволяє забезпечити роботу на рідкому і газоподібному паливі, забезпечує сприятливу послідовність введення різних палив в камеру згорання при роботі в режимі газодизеля, автоматично погоджує кількість палива, що подається з режимом роботи газодизеля за рахунок штатного регулятора частоти обертання, підвищує рівномірність

розподілу газоподібного палива по циліндрах. В результаті чого підвищується ефективність роботи системи живлення газодизеля.

Література:

1. Макаров В.А., Козлов С.И. Топлива и топливopодача многотопливных и газодизельных двигателей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – с. 268-269.
2. Патент РФ № 2126908. Система топливopодачи газодизеля. МПК F02M 43/00. Оpubл.27.02.1999.
3. Селиванов Н.И., Кузнецов А.В., Кайзир Ю.Ф. Патент РФ № 2338920. Система подачи жидкого и газообразного топлива в газодизель. Заявл. № 2007108990/06.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF GAS-DIESEL ENGINES

Proskurin A.Yu., Dovbenko M.M, Tsurkan I.O, Matveiev V.V., Kylikov A.M.
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. It is proposed to modernize the gas fuel supply system, which ensures high economic and operational performance of the engines. The fuel system allows for operation on liquid and gaseous fuels, provides a favorable sequence for the introduction of various fuels into the combustion chamber when operating in the gas-diesel mode. Automatically adjusts the amount of fuel supplied with the operating mode of the gas-diesel engine due to the standard speed regulator, increases the uniformity of distribution of gaseous fuel over the cylinders.

Keywords: fuel system, gas fuel, high pressure fuel pump, injector.

УДК 656.13:502.5

ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ СУДНОВИХ ВОД АДСОРБЕНТАМИ ІЗ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА

Ратушняк І.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
Україна*

Гнатюк С.О.

*студент Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м.
Миколаїв, Україна*

igor.ratushnyak@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто особливості адсорбції, як методу, що дозволяє очищати суднові води до необхідного рівня без внесення будь-яких вторинних забруднень. У якості адсорбентів застосовуються природні та штучні пористі матеріали різної природи. Одним із напрямків створення ефективних адсорбентів є переробка відходів виробництва із додатковою обробкою.

Ключові слова: адсорбція, адсорбент, відходи.

Для очищення забруднених суднових вод (СВ) застосовують механічні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні методи чотирьох груп: безпосереднього виділення; виділення зі зміною фазового складу; перетворення; біохімічні методи. Широке застосування знайшли флотація і сорбція, іонний обмін, ультрафільтрація, зворотний осмос, екстракція та інші методи [1].

Адсорбція – концентрування речовини на поверхні або у об'ємі мікропор твердого тіла. Розрізняють три різновиди сорбції: адсорбцію, абсорбцію й хемосорбцію, практичне значення для застосування має адсорбція [1, 2]. Це метод, що дозволяє очищати СВ до будь-якого необхідного рівня без внесення будь-яких вторинних забруднень.

У якості адсорбентів застосовують природні та штучні пористі матеріали різної природи [2, 3]:

1. Активоване вугілля. Активоване вугілля здатне ефективно видаляти розчинені НП з СВ, особливо якщо у складі розчинених домішок переважають ароматичні вуглеводні, однак через низьку міцність можливість застосування обмежена через великі втрати матеріалу при промиванні та регенерації;

2. Силікагелі;

3. Активний оксид алюмінію;

4. Цеоліти;

5. Природні глинисті породи;

Ефективне видалення із води нерозчинених нафтопродуктів (НП) та інших забруднювачів досягається завдяки здатності НП до адгезії на поверхні матеріалу завантаження фільтра. Частки НП, осідаючи на поверхні завантаження фільтра, коалесцують між собою й утворюють безперервну фазу, здатну видалятися із об'єму фільтра під дією гравітаційних сил. Основні фізико-хімічні показники широко використовуваних фільтруючих матеріалів наведено в таблиці 1.

Перспективними вважаються пористі фільтруючі завантаження, що дозволяють одночасно видаляти дрібнодисперсні і розчинені НП. Найбільший ефект забезпечують пори діаметром 1,5–4,5 нм при швидкостях фільтрування 3 м/год. Пористі адсорбенти мають низьку механічну міцність, втрати за один цикл на стирання або промивання становлять 0,1–2%, тому, враховуючи це, а також вартість адсорбентів, велике значення має регенерація адсорбентів і можливість їх багаторазового використання.

Основний вплив на адсорбційну здатність і швидкість поглинання надає наявність дрібних пор у одиниці об'єму або маси адсорбенту. Пори по своєму розміру підрозділяються на три види: макропори (0,1–2 мкм), перехідні пори (0,004–0,1 мкм), мікропори (менше 0,004

мкм). Макропори й перехідні пори виконують, як правило, функції транспортних каналів, а сорбційна здатність визначається мікропористою структурою.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники зернистих фільтруючих матеріалів

Показник	Пісок	Гідроантрацит -Р	Гранітний щебінь	Вулканічні туфи	Вермикуліт спучений
Подрібнюванність, %	2,9	1,7	3,35	0,8	2,9
Стираність, %	0,7	0,2	0,2	0,3	0,3
Зольність, %	0,2	0,1	0,1	4,5	0,5
Окислення, мг/дм ³	9,7	9,2	8,4	7,5	6,2
Кремнієва кислота, мг/дм ³	5,0	0,8	2,5	3,5	2,5
Щільний залишок, мг/дм ³	8,7	19,7	5,7	12,6	9,3
Залишковий зміст НП у воді, мг/дм ³	3,0-5, 0	1,5-2,5	4,5-5,0	3,0-3,35	1,0-2,5

Підприємства у процесі діяльності утворюють тисячі тонн відходів мінерального й органічного складу. Якщо раніше підприємству було вигідніше заплатити штраф за утилізацію своїх відходів, то тепер тенденції на збільшення штрафів роблять проблему пошуку шляхів утилізації виробничих відходів все більш актуальною. Одним із таких напрямків є переробка відходів на адсорбенти. Виділяють декілька основних напрямків застосування відходів виробництва як адсорбентів:

- сорбційне очищення води;
- сорбційне очищення від іонів важких металів;
- використання як добавок адсорбента при будівництві.

До першого напрямку відносяться адсорбенти переважно органічного походження: лушпайки насіння, льон, стружка, ошурки, відпрацьовані шини, синтетичні іоніти, поліетилен, відходи кабельної промисловості. Поряд із адсорбентами, виготовлених з органічної сировини, використовуються відходи мінерального походження: шлаки металургії, зола віднесення й шлам хімводоочищення ТЕС.

До другого напрямку використання відносять відходи кольорової металургії, теплоенергетики, хімічної промисловості й агропромислового комплексу: гідроксиди кальцію, магнію, алюмінію та заліза, відходи поліпропілену і поліетилентерефталату.

Підвищена вологість, нерозвинена площа поверхні, висока дисперсність, баласт – параметри, що знижують ємність адсорбенту. Без додаткової обробки сировини неможливо добитися збільшення технічних характеристик, тому доцільно застосовувати наступні процеси:

- термічну обробка;

- зміну полярності поверхні (гідрофобізація, гідрофілізація);
- хімічну обробку;
- зміну геометричної форми матеріалу (формування, гранулювання, подрібнення);
- електромагнітну обробку.

Дослідження [1-4] вказують на перспективність виготовлення адсорбентів із відходів виробництва, особливо шламу ТЕС у якості адсорбенту НП СВ. Шлам є інертним матеріалом та має 5 клас небезпеки (не горючий). Початковий матеріал дуже рідко можна використовувати у якості адсорбенту відразу, без додаткової обробки значення сорбційної ємності дуже низькі. Після використання адсорбент можна не регенерувати, а використовувати його як допоміжне паливо або добавку при будівництві.

Література:

1. Медведев, В.Т. Инженерная экология [Текст] / В.Т. Медведев. – М.: Гардарики, 2002.– 687 с.
2. Кузубова, Л.И. Очистка нефтесодержащих сточных вод [Текст]: аналит. обзор / Л.И. Кузубова, С.В. Морозов. – Новосибирск: СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. 1992. –72 с.
3. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды [Текст] / А.Д. Смирнов. –Л.: Химия, 1982. – 168 с.

PURIFICATION OF POLLUTED SHIP WATERS BY ADSORBENTS FROM PRODUCTION WASTE

Ratushniak I.O.,

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
Gnatyuk S.O. Student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. The peculiarities of adsorption as a method that allows to purify ship waters to the required level without the introduction of any secondary contaminations are considered. Natural and artificial porous materials of different nature are used as adsorbents. Recycling of production waste with additional treatment is one of the directions of effective adsorbents creation.

Key words: adsorption, adsorbent, waste.

УДК 628.543:504.61

ВДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СУДНОВИХ НАФТОВІСНИХ ВОД

Ратушняк І.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
Україна*

Ратушняк Л.П.

*викладач кафедри менеджменту Національного університету кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
igor.ratushnyak@nuos.edu.ua*

Анотація. Основні способи впливу ІМО на компанії при експлуатації суден типові: повна заборона на скидання; стандарти скидання; стандарти конструкції та обладнання суден; дозвільні режими. Існує нагальна необхідність вдосконалення оцінки ефективності систем очищення нафтовмісних вод (НВВ) для оптимізації економічних витрат судноплавних компаній і впливу на морське середовище.

Ключові слова: нафтовмісні води, економічний ефект.

Найпоширенішим і небезпечним забруднювачем є нафта й нафтопродукти, що щорічно попадають до акваторій Світового океану, орієнтовна кількість яких складає від 3 до 20 млн т [1]. Експлуатаційне забруднення нафтою включає як автоматичне скидання у процесі роботи судна, так і навмисні скидання відходів, що утворюються у процесі експлуатації. Існує єдина для всіх країн проблема забруднення нафтою, яка вирішується лише за допомогою такого інструменту як штрафи.

Наявність суднових систем очищення є технічним інструментом реалізації політики ІМО стосовно захисту морського середовища від забруднення [2]. Екологічні вимоги до морського транспорту з боку ІМО постійно зростають, це вносить корективи до діяльності судноплавних компаній, тому вони не завжди обирають якісні судові системи очищення через їх вартість.

Основні способи впливу ІМО на компанії при експлуатації суден типові: повна заборона на скидання; стандарти скидання; стандарти конструкції та обладнання суден; дозвільні режими. Існує нагальна необхідність вдосконалення оцінки ефективності систем очищення нафтовмісних вод (НВВ) для оптимізації економічних витрат судноплавних компаній і впливу на морське середовище.

Для підвищення еколого-економічної ефективності систем очищення НВВ та мінімізації витрат доцільно застосовувати методику на основі методу визначення

раціонального оптимуму нелінійних монотонних функцій [3]. Під еколого-економічною ефективністю запобігання забрудненню розуміється виражена у вартісній формі величина попереджених збитків економіці, за винятком витрат природоохоронного призначення, приведених до річної розмірності відповідно до нормативного коефіцієнту ефективності капітальних вкладень. Різновидом економічного збитку є відвернений економічний збиток, який являє собою розрахункову величину втрат господарства від забруднення водних джерел, що попереджені у результаті застосування природоохоронних заходів. Розрахунки економічних збитків від забруднення водних об'єктів нафтою на сьогоднішній день є складною, дорогою і тривалою задачею, так як при розрахунках збитків необхідно вивчити й оцінити вплив багатьох факторів на водне середовище (тип і кількість нафтопродуктів, їх концентрацію, пору року, район плавання судна та інше).

Добовий обсяг накопичення НВВ залежить від водотоннажності, типу й віку судна, методика їх оцінки наведена у галузевому стандарті [4]. У результаті досліджень доведено, що фактична продуктивність систем очищення НВВ багатьох суден необґрунтовано суттєво завищена (у 2–4 рази) [1, 3]. Таким чином, значно збільшується вартість системи і вартість очищення води, тому знижується економічна ефективність таких систем.

Під економічною ефективністю суднових систем очищення розуміють властивість системи виконувати задані функції із необхідним рівнем очищення при відповідних витратах і попереджених збитках. Це визначення має фіксовані характеристики: регламентована якість, відповідні витрати, попереджені збитки.

Система очищення суднових НВВ характеризується наступними основними техніко-економічними характеристиками: вартість системи; вартість монтажу системи на судні; продуктивність; очисна здатність; експлуатаційні витрати. Переважна більшість систем очищення суднових НВВ має продуктивність 0,5–5,0 м³/год, так як цей діапазон забезпечує потреби практично всіх типів і розмірів суден. Вартість очищення води, а відповідно вартість системи очищення НВВ суттєво залежить від рівня очищення. Для підвищення рівня очищення води від нафтопродуктів, необхідно збільшувати кількість ступенів системи очищення. При збільшенні очисної здатності й зменшенні рівня менше 5 млн⁻¹, збільшення вартості системи відбувається швидкими темпами внаслідок істотного збільшення вартості фільтруючого устаткування, так як необхідно три і більше ступені очищення, крім того зростають експлуатаційні витрати (технічне обслуговування й заміна фільтрелементів).

Згідно методики [3] для судна типу «річка–море» із потужністю ГЕУ 5 МВт виконано розрахунки, які показують, що попереджений економічний збиток при наявності системи очищення суднових НВВ складає 100 тис. дол. США, крім того на судні можливе повторне використання нафтопродуктів на суму 1,3 тис. дол. США. Експлуатаційні

витрати системи очищення НВВ відносно невеликі та складають близько 2 тис. дол. США. Оцінка еколого-економічної ефективності вказує, що кожний долар США, додатково вкладений у суднову систему очищення НВВ, може привести до 5 дол. США економії експлуатаційних витрат.

Література:

1. Истомин, В.И. Предотвращение загрязнения моря нефтью при эксплуатации судов: учеб. пособие для студ. – Севастополь: Изд-во Севастоп. нац. техн. ун-та, 2003. – 100 с.
2. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. [Текст]: МАРПОЛ 73/78 (MARPOL 73/78) – СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2012. – 768 с.
3. Хлебникова, В.В., Тверская, С.Е. Методика расчета рациональной производительности систем очистки судовых нефтесодержащих вод // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений: Материалы VIII Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и студентов. – Севастополь, 2013 г.
4. СОУ МПП 47.020-65:2005 Суда морские. Предотвращение загрязнения моря нефтью. Нормы суточного накопления нефтесодержащих вод машинных помещений судов и методика расчета пропускной способности систем очистки. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 15 с.

IMPROVEMENT OF THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OILY WATERS PURIFICATION SYSTEMS

Ratushniak I.O.

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Ratushniak L.P.

Senior Lecturer, Department of Management, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. The main ways of IMO impact on companies during the vessel operation are typical: a total ban on discharge; discharge standards; ship design and equipment standards; permitting regimes. There is an urgent need to improve the assessment of the effectiveness of oily waters purification systems (OWS) for optimization of the economic costs of shipping companies and the impact on marine environment.

Key words: oily waters, economic effect.

УДК 629.436

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ МАЩЕННЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Сагін А. С.

аспірант

Національного університету «Одеська морська академія»,

м. Одеса, Україна

saginarseniy@gmail.com

Анотація. Наведені результати експериментів, щодо визначення експлуатаційних показників циркуляційних систем мащення під час спуску судна на воду із сухого доку. Експериментально встановлено, що забезпечення додаткового тиску в циркуляційній системі мащення під час пускового режиму роботи суднового середньообертового дизеля сприяє більш швидкої стабілізації тиску мастила в парі вал-вкладиш підшипника, більш раней стабілізації частоти обертання валу дизеля, а також зниженню механічних втрат в дизелі.

Ключові слова: судновий середньообертовий дизель, циркуляційна система мащення, пусковий режим роботи дизеля, механічні втрати в дизелі

Пускові режими є найбільш відповідальними для будь-яких типів головних двигунів (ГД), в тому числі і суднових середньо-обертових дизелів (СОД). Підвищення їх надійності може бути досягнуто за рахунок вдосконалення функціонування циркуляційної мастильної системи дизеля за рахунок керування реологічними характеристиками мастильного матеріалу.

Остаточною фазою ремонтних докових операцій є спуск судна на воду. При цьому в повному обсязі закінчуються роботи по корпусної частині судна і гвинто-рульового комплексу. Однак можливі випадки, коли з тих чи інших виробничих чи експлуатаційних причин головний двигун (ГД) судна ще не готовий до роботи. Даний аспект суворо не регламентується в нормативних документах наглядових органів. Крім того, для суден, оснащених дизелями, що працюють на гвинт фіксованого кроку, введення в дію яких не планується в районі судноремонтного заводу, взагалі не розглядається до моменту ходових випробувань. Якщо великотоннажні судна після закінчення докового ремонту виводяться на відкриту воду за допомогою портових засобів, то для суден малої та середньої водотоннажності можливий самостійний вихід за територію порту. Крім того, такі судна менш інерційні, а тому більш схильні до дії факторів, що обурюють, якими можуть служити випадкове хвилювання моря або помилка в буксируванні.

Огляд останніх досліджень свідчить про наявність невирішеного науково-прикладного завдання з можливості забезпечення додаткових маневрових якостей судна, а, отже, підвищення його керованості та живучості, що може бути досягнуте шляхом

оптимізації експлуатаційних показників роботи циркуляційних систем мащення судових дизелів [1].

Експерименти, що пов'язані з даними дослідженнями, були проведені на судні водотоннажністю 9800 тонн. Як ГД на судні використовувався чотиритактний СОД Hanshin 6LF58 з номінальною потужністю 4410 кВт, що працює на ГКР. Схема циркуляційної мастильної системи такого дизеля приведена на рис. 1. Призначення елементів схеми зрозуміло і не вимагає додаткових пояснень.

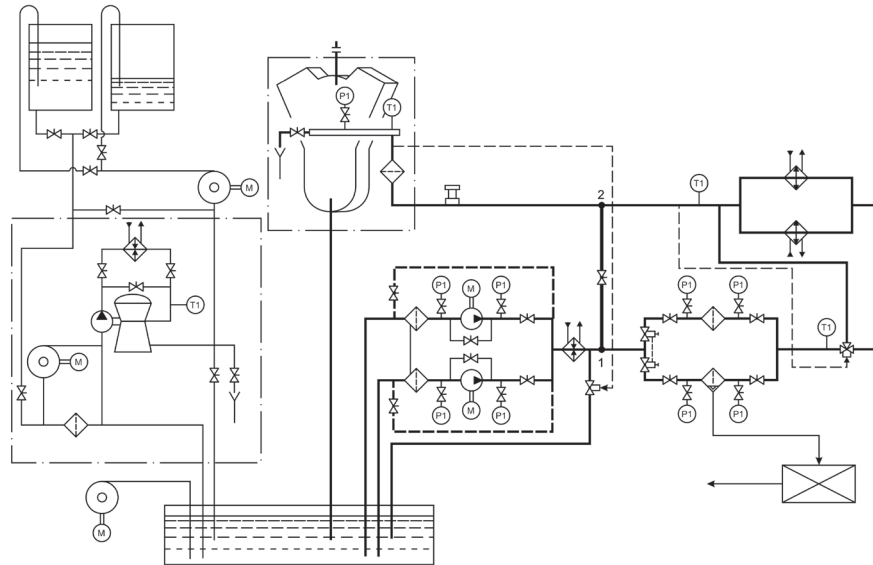


Рис. 1. Схема мастильної системи судового дизеля Hanshin 6LF58

Перед пуском ГД прокачується одним з мастильних насосів, який забирає мастило з стічного танка і через фільтр і охолоджувач мастила направляє його до поверхонь тертя дизеля. Дана стандартна схема подачі мастила володіє певним часовим інтервалом, що характеризує рух мастила по системі від вихідного патрубку насоса безпосередньо до контактуємих деталей дизеля. У режимі штатної підготовки дизельної установки до пуску даний параметр не має переважаючого значення, а сам процес прокачування мастилом має за мету не тільки збагачення поверхонь мастильною плівкою, а й прогрів дизеля. Крім того, прокачування дизеля мастилом починається задовго до безпосереднього пуску дизеля, особливо це відноситься до мало-оберткових двотактних дизелів.

При режимах екстреного пуску час надходження мастила до вузлів тертя (в першу чергу до підшипників руху) має суттєве значення, а функціональність даного процесу перевищує фактор необхідності прогріву дизеля. У зв'язку з цим стандартна схема була дообладнана лінією 1-2. При цьому мастило, яке надходить з цієї магістралі, було піддано процесу управління реологічними характеристиками за рахунок використання поверхнево активних речовин, крім того штатна циркуляційна система була модернізована і по названій мастильній магістралі до елементів дизеля подавалося тільки свіже мастило. Слід зазначити,

що мастило по магістралі 1-2 надходило до дизеля минаючи блок фільтрації та охолодження. З експлуатаційної точки зору це пояснювалося наступним. У момент пуску дизеля мастило, що знаходиться в системі, ще не володіє високими температурними значеннями і необхідність в його охолодженні відсутня. Безпосередньо на вході в дизель мастило проходить через мастильний фільтр, який забезпечує необхідний ступінь очищення, а сам процес фільтрації для режимів екстреного пуску можливо проводити без додаткового проходження мастила через штатну систему фільтрів. Крім того, при екстреному пуску дизеля було рекомендовано використовувати обидва мастильних насоса, при цьому їх паралельна робота підвищувала тиск мастила в системі і, відповідно, в парі тертя вал-вкладиш підшипника [2].

Безумовно, дані умови роботи мастильної системи відрізняються від «штатних». Перш за все, це пов'язано з необхідністю очищення мастила в фільтрах тонкого очищення, розташованих в «відсіченої зоні» системи. Однак, з огляду на відносну нетривалість даних умов роботи, а також переважаюче значення надійного пуску дизеля в екстрених умовах, вони можуть бути рекомендовані до експлуатації. Крім того, клапан, за допомогою якого в разі екстреного пуску мастило може бути переспрямовано по додатковій магістралі, може автоматично перекриватися при наборі дизелем мінімально стійкої частоти обертання, забезпечуючи таким чином, роботу мастильної системи в даному режимі лише певний час.

Неодмінним супутником пускових режимів роботи будь-якого механізму є режим напіврідинного або граничного тертя в його контактуємих елементах. Для судових СОД найбільш відповідальними з таких вузлів є сполучення втулка-поршневі кільця, вал-вкладиш підшипника. У першому випадку на дзеркалі циліндрової втулки і особливо на поршневих кільцях залишається залишковий шар мастильної плівки, який здатний забезпечити необхідний режим тертя. У другому, після тривалого виведення дизеля з експлуатації гідравлічний підпір шийки вала в підшипнику припиняється і під впливом сил тяжіння відбувається просідання вала на ліжку підшипника, що призводить до витіснення мастильного матеріалу з сполучення. Таким чином, пуск судового дизеля спочатку відбувається в режимі напіврідинного або граничного тертя. Ще більш ускладнюється забезпечення мастилом пари вал-вкладиш під час екстреного пуску, коли контактуємі елементи не прокачуються мастилом за допомогою мастильного насоса. На жаль, дані режими роботи можливі під час експлуатації судового пропульсивного комплексу і один з таких випадків – спуск судна на воду із сухого доку. Можна стверджувати, що використання в судових умовах пропонованих рішень призведе до більш якісного забезпечення мастилом елементів дизеля, які труться і підвищенню надійності його роботи.

Результати досліджень, що виконані, дозволяють зробити наступні висновки.

Додаткове забезпечення мастилом ще непрацюючого дизеля суттєво підвищує його надійність роботи. Це сприяє більш швидкої стабілізації тиску мастила в парі вал-вкладиш підшипника, більш раней стабілізації частоти обертання валу дизеля, а також зниженню механічних втрат в дизелі.

Література:

1. Мацкевич Д. В. Регенерація експлуатаційних властивостей моторних мастил суднових дизелів / Д. В. Мацкевич // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць, 2020. – Вип. 1(61). – С. 121-130. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-121-130.
2. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

OPTIMIZATION OF OPERATIONAL INDICATORS OF CIRCULATING LUBRICATION SYSTEMS OF MARINE DIESELS

Sagin A.S.

National University "Odessa Maritime Academy"

Abstract. The results of experiments on determining the performance of circulating lubrication systems during the descent of the vessel into the water from the dry dock are presented. It has been experimentally established that providing additional pressure in the lubrication circulation system during start-up operation of the ship's medium-speed diesel engine contributes to faster stabilization of oil pressure in the bearing shaft-bearing pair, earlier stabilization of diesel shaft speed, and reduction of mechanical losses in the diesel engine.

Keywords: marine medium speed diesel, circulating lubrication system, diesel starting mode, mechanical losses in diesel

УДК 621.438

УТИЛІЗАЦІЯ НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОТИ ГТУ ТЕПЛОВИМИ НАСОСАМИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ВОДЯНІЙ ПАРІ

Соломонюк Д.М.

*кандидат технічних наук,
провідний інженер,*

ДП НВГК «Зоря»-«Машпроект»

м. Миколаїв, Україна

dns_wrk@ukr.net

Анотація. Розглянуто перспективи підвищення економічності ГТУ шляхом утилізації теплоти вихлопних газів у теплових насосах. Запропоновано схему теплового насоса, що працює на

водяній парі. Показано, що при використанні теплових насосів можливо утилізувати у 2 рази більше тепла, ніж у звичайній водогрійній секції, і збільшити загальну економічність установки на 3...4 % (абс.).

Ключові слова: газотурбінні установки, теплові насоси, утилізація теплоти, коефіцієнт використання тепла палива

Утилізація тепла відхідних газів – один з найпоширеніших способів підвищення коефіцієнту використання тепла палива (КВТ) газотурбінних установок (ГТУ). Так у ГТУ простого циклу виробництва ДП НВКГ "Зоря"-Машпроект" КВТ досягає 34...35 % [1, 2]. Якщо на виході газотурбінного двигуна встановити паровий котел-утилізатор, пара від якого подаватиметься до теплових споживачів, то загальний КВТ такої когенераційної установки може досягнути 78...84 % [3].

Висока температура вихлопних газів за котлом-утилізатором (120...150 °C) дає можливість використати їх тепло для гарячого водопостачання та опалення. Для цього за котлом-утилізатором встановлюється додаткова водогрійна секція. У холодну пору року (при температурі нижче +8 °C) в ній підігріватиметься вода, що йде до системи опалення (від температури 70

гаряче водопостачання з температурою 60

секцією знизиться до 84...87

°C до 95

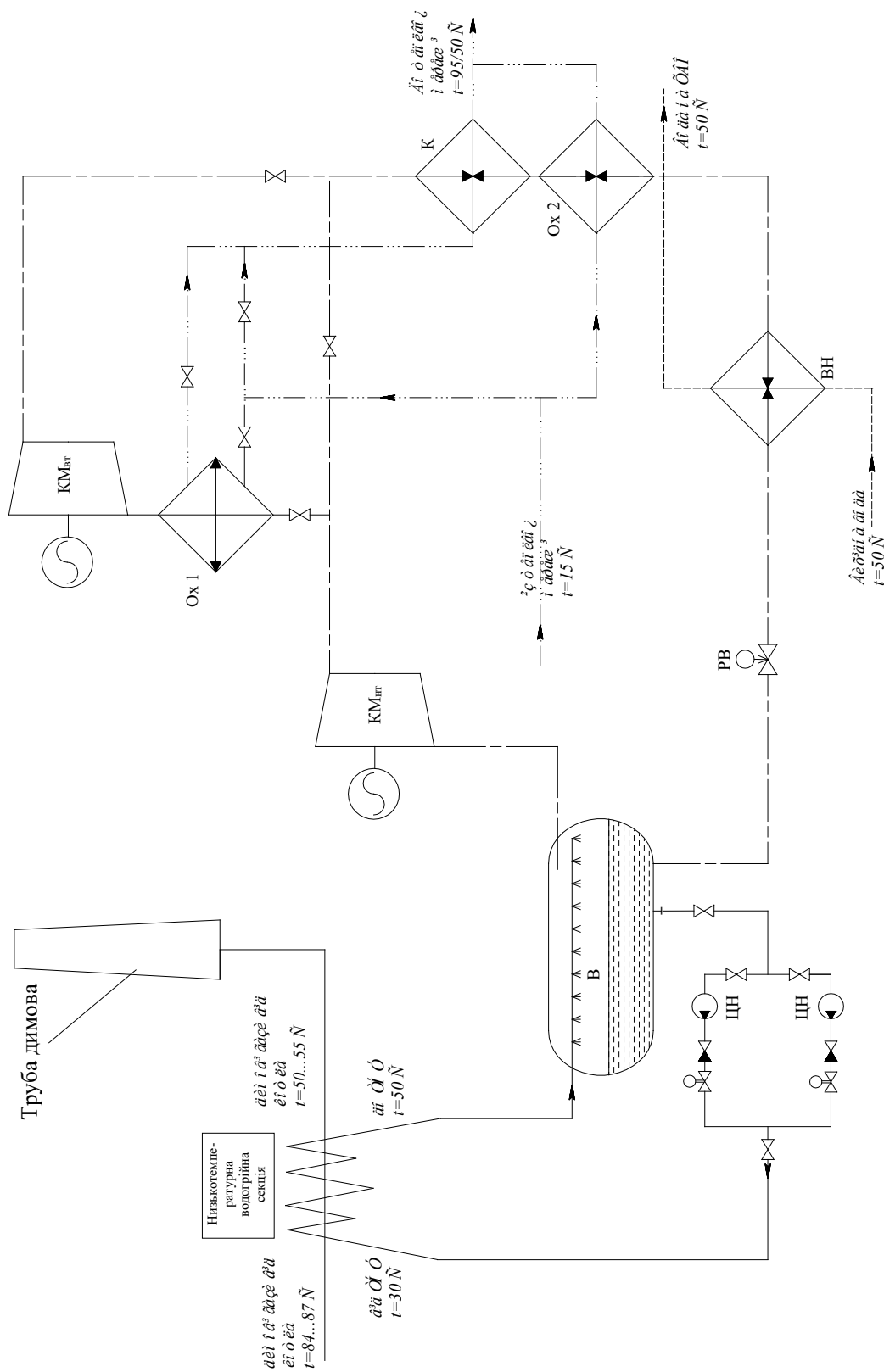
°C. Темпе

°C. КВТ такої установки досяг

Більш глибока утилізація тепла вихлопних газів (з охолодженням до температур 30-50 °C) дозволить суттєво підвищити економічність установки. Найпростіший шлях виконати глибоку утилізацію – використати теплоносій з низькою температурою (25 – 35 °C). Недоліком такого підходу є мала кількість споживачів низькопотенційного тепла. Більш перспективним є підвищення температурного потенціалу робочого тіла у теплових насосах (ТН) [4].

Запропонована установка глибокої утилізації (рис. 1) складається з двох контурів. У першому контурі вода забирається циркуляційними насосами із випарника ТН та подається до низькотемпературного водонагрівача. Там вона підігрівается відходячими газами з температури 30 °C до 50 °C. Потім вона повертається до випарника теплового насосу, в якому підтримується низький тиск, розприскується і частково випаровується, внаслідок чого її температура знижується до 30 °C.

Другий контур, це тепловий насос, який для даних умов виконано двоступінчастим із проміжним охолоджувачем між компресорами.



В – випарник, КМ – компресор, ОХ – охолоджувач, К – конденсатор, РВ – регулюючий вентиль (дросель); ВН – водонагрівач; нт – низькотемпературний контур; вт – високотемпературний контур.

Рисунок 1 – Схема установки глибокої утилізації тепла вихлопних газів з двоступінчастим ТН на водяній парі та з передачею тепла на потреби теплофікації.

При роботі ТНУ в режимі "зима" отримана у випарнику пара стикається у компресорі KM_{HT} та йде по контуру, що включає охолоджувач пари $Ox1$ та компресор KM_{BT} . У компресорі KM_{BT} водяна пара, охолоджена в $Ox1$, стискається до атмосферного тиску, а її температура піднімається вище $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В охолоджувачі $Ox1$ мережна вода нагрівається на $3-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і скидається в конденсатор K , де догрівається до $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Конденсат з K з температурою $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ подається в $Ox2$, де нагріває мережну воду контуру до $95 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Мережна вода обох контурів змішується й подається споживачеві. Конденсат, що виходить із $Ox2$ у зимовому режимі з температурою $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, має температуру більше, ніж у випарнику. При поверненні конденсату у випарник відбувається його дроселювання в регулюючому дроселі PB і випар. Отримана пара забирається з випарнику компресорами, що приводить до підвищення їхньої потужності. Для зменшення споживання електроенергії можливо виконати доохолодження конденсату у водонагрівачі VH водою, що йде на хімводоочищення або на гаряче водопостачання.

У режимі "літо", пара стискатиметься тільки у компресорі KM_{HT} і далі подаватиметься до конденсатору K . Вода, що призначена для потреб ГВП, підігріватиметься до потрібної температури у конденсаторі K та охолоджувачі $Ox2$.

Розрахунки показали, що при використанні даної установки у складі когенераційної ГТУ температура вихлопних газів за низькотемпературною секцією знизиться до $50...55 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а загальний КВТ когенераційної ГТУ – збільшиться до $88...91 \%$.

Таким чином, при додаванні низькотемпературної водогрійної секції з ТН можливо утилізувати у 2 рази більше тепла, ніж у одній звичайній водогрійній секції, і збільшити КВТ на $3...4\%$ (абс.).

Література:

1. Николаевские газотурбинные двигатели и установки. Под. ред. В.И.Романова. Николаев : Юг-Информ, 2005. 304 с.
2. Gas turbine world 2014-15 GTW handbook. Vol. 31. Pequot Publishing Inc, 2015. 198 p.
3. Мовчан, С. Н., Бочкарев Ю. В., Соломонюк Д. Н. Перспективы и проблемы создания когенерационных установок на базе газотурбинных двигателей производства ГП НПКГ "Зоря"–"Машпроект". Наук. пр. МДГУ ім. П. Могили. Миколаїв: 2008. № 3. С. 121-123.
4. Горшков В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор. Справочник промышленного оборудования, 2004.

RECOVERY OF LOW POTENTIAL HEAT OF GAS TURBINE PLANT WITH HEAT PUMPS ON WATER STEAM

Solomonyuk Denis Mykolaevich

Zorya-Mashproekt, Mykolayiv, Ukraine

Annotation. Prospects for increasing the efficiency of gas turbine engines by utilizing the heat of exhaust gases in heat pumps are considered. The scheme of the heat pump working on water steam is offered. It is shown that using heat pumps it is possible to utilize two times more heat than in the water heating section, and to increase the overall efficiency of the plant by 3... 4% (abs.).

Keywords: gas turbine plant, heat pump, heat utilization, thermal efficiency

УДК 629.4.048

СИСТЕМА КОНДИЦІЮВАННЯ З ГЛИБОКИМ ДВОСТУПЕНЕВИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ПОВІТРЯ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ АВТОНОМНОЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Грич А.В. *к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації ;*
Остапенко О.В. *к.т.н., доцент кафедри кондиціювання та рефрижерації;*
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв,

ORCID: 0000-0002-2142-3665, 0000-0001-7343-6743

artem.grich@gmail.com

Виконано аналіз ефективності охолодження припливного повітря машинного відділення когенераційних газових двигунів тригенераційної установки автономного енергозабезпечення. Розглянуто систему двоступеневого охолодження повітря з використанням каскадної абсорбційно-парокмпресорної холодильної машини і зональною повітроподачею. Запропоновано способи обробки їх припливного повітря машинного відділення, що забезпечують його глибоке охолодження.
Ключові слова: охолодження, тригенераційної установка, машинне відділення, газовий двигун, повітроохолоджувач.

Машинні відділення (МВ) автономних теплоелектростанцій на базі газових двигунів (ГД) відрізняються інтенсивними тепловиділеннями – від електрогенераторів, встановлених на ГД теплообмінників відведення теплоти на нагрів води, від корпусу самого двигуна, щитів управління і т.д., а також теплоприпливи в МВ ззовні, що призводить до підвищення температури повітря в МВ, звідки він надходить на вхід турбокомпресорів (ТК) наддуву ГД, і, як наслідок, до зниження паливної ефективності ГД. Тому припливне повітря МВ необхідно охолоджувати. У стандартних системах кондиціювання МВ установок автономного енергопостачання тригенераційного типу передбачено охолодження всього припливного повітря в центральних кондиціонерах (ЦК) з холодопостачанням від абсорбційних холодильних машин, утилізують скидну теплоту ГД. Однак при підвищених

температурах зовнішнього повітря стандартні системи охолодження в ЦК не в змозі забезпечити необхідну температуру повітря на вході ГД через значні теплопритоки і великих обсягів приточного повітря. Крім того, глибина охолодження припливного повітря обмежена температурою холодоносія (холодної води від АБХМ) 7 °С.

Для більш глибокого охолодження припливного повітря розроблена двоступенева система охолодження припливного повітря з парокомпресорною холодильною машиною (ПКХМ), що служить для холодопостачання технологічних виробництв. Використання ПКХМ для кондиціювання МО вельми обмежена, особливо при дефіциті холоду на технологічні потреби.

З метою зведення до мінімуму споживання дефіцитного холоду від ПКХМ розроблена система двоступеневого охолодження повітря в повітроохолоджувачі (ПО) на вході ГД з холодопостачання другого ступеня ПО₂ від каскадної абсорбційно-парокомпресорної холодильної машини (КАПКХМ) [1, 2]. При цьому конденсатор ПКХМ охолоджується холодоносієм від АБХМ. Система дозволяє підвищити холодопродуктивність компресора і холодильний коефіцієнт ПКХМ (від $\varepsilon_k=3,1$ до $\varepsilon_k=7$ згідно характеристик компресора BITZER 4NES-12Y-40P на рис. 1) за рахунок зниження температури конденсації t_k від 45 °С до 20 °С.

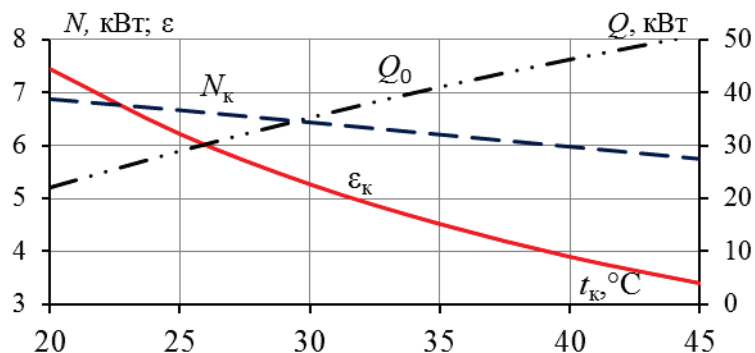


Рис. 1. Залежність холодильного коефіцієнта ε_k , споживаної електричної потужності N_k компресора BITZER 4NES-12Y-40P, холодопродуктивності ПКХМ Q_0 від температури конденсації t_k .

Таким чином можна скоротити витрати електроенергії на привід компресора ПКХМ на 40 ... 50%.

На рис. 2 представлені результати розрахунку характеристик системи двоступеневого охолодження припливного повітря на вході ГД в КАПКХМ. Як видно з графіків, зниження температури повітря становить $\Delta t_{ПО} = t_{зп} - t_{в.А} = 14...26$ °С, що значно більше, ніж в базовому варіанті $\Delta t_{ПО(60)} = t_{зп} - t_{ПО.2} = 5...13$ °С. Звідси можна зробити висновок, що застосування зональної системи кондиціювання з двоступеневим охолодженням повітря на вході ГД

дозволяє збільшити глибину охолодження $\Delta t_{\text{ПО}}$ в півтора рази в порівнянні з базовим варіантом системи кондиціонування.

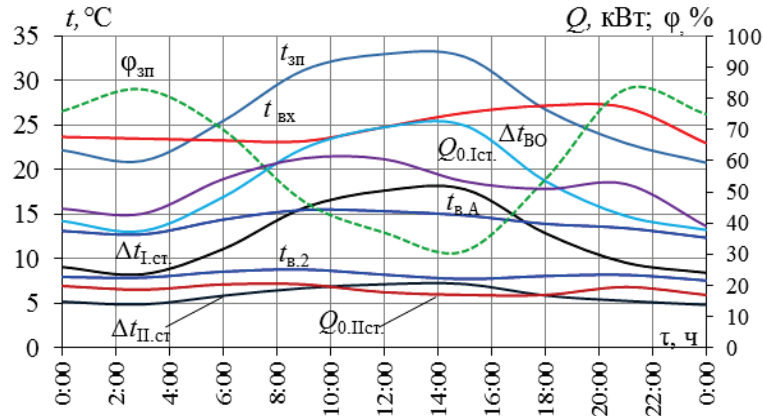


Рис. 2. Температури зовнішнього повітря $t_{\text{зп}}$, на вході ТК ГД $t_{\text{вх}}$ при заборі повітря із МВ, на виході з першого ступеня ПО₁ $t_{\text{в.А}}$, зниження температури повітря в ПО₁ $\Delta t_{\text{I.ст.}} = t_{\text{зп}} - t_{\text{в.А}}$, на виході з другого ступеня ПО₂ $t_{\text{в.2}}$, зниження температури повітря в ступені ПО₂ $\Delta t_{\text{II.ст.}} = t_{\text{в.А}} - t_{\text{в.2}}$, повна глибина охолодження припливного повітря в двоступеневому ПО $\Delta t_{\text{ПО}} = t_{\text{зп}} - t_{\text{в.в.х.ПО.2}}$ протягом доби при витраті повітря 35000 м³/год, холодопродуктивності першого ступеня ПО₁ $Q_{0.\text{I.ст.}}$ і другого ступеня ПО₂ $Q_{0.\text{II.ст.}}$.

На рис.3 представлені поточні значення холодопродуктивності (теплого навантаження на ПО) і скорочення питомої витрати палива протягом доби.

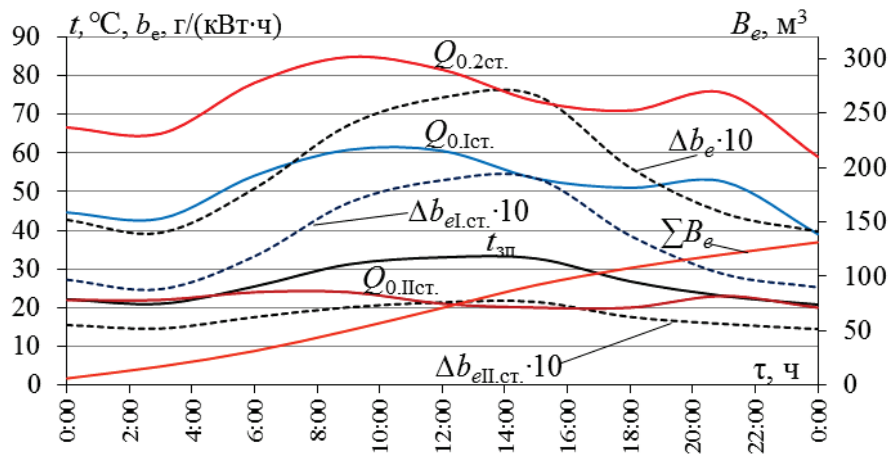


Рис. 3. Зміна холодопродуктивності першого ступеня ПО₁ $Q_{0.\text{I.ст.}}$, другого ступеня ПО₂ $Q_{0.\text{II.ст.}}$, сумарною холодопрдуктивності ПО $Q_{0.\text{ПО}}$, повного теплового навантаження ПО $Q_{0.2\text{ст.}}$, Δb_e – скорочення питомої витрати палива, г / (кВт · год), $\Sigma \Delta B_e$ – добова економія природного газу, м³

Як видно, максимальне теплове навантаження складає близько 112 кВт, що на 68% менше, ніж в базовому варіанті ($Q_{0(60)} \approx 350$ кВт), а навантаження на ПО зменшилася на 76%, що має велике значення в умовах дефіциту холоду на технологічні потреби .

Висновки

Розроблено спосіб двоступеневого охолодження припливного повітря МВ ГД трансформацією скидний теплоти ГД в каскадний абсорбційної-парокомпресорній холодильній машині з холодопостачанням високотемпературного ступеня ПО_{ВТ} від АБХМ і низькотемпературного ступеня ПО_{НТ} від КАПКХМ, який забезпечує скорочення витрат палива на 10 ... 15% за рахунок глибокого (до 7 ... 10 ° С) охолодження повітря на вході ГД в порівнянні з його охолодженням в АБХМ до 15 ° С

Література:

1. Радченко А. М., Грич А. В. Охолодження приточного повітря машинного відділення газових двигунів тригенераційної установки [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич // Холодильна техніка та технологія. – 2014. – № 6. – С. 20-25.
2. Радченко А. М., Грич А. В., Портной Б. С. Ступенчатое охлаждение приточного воздуха машинного отделения автономной электростанции [Текст] / А.М. Радченко, А.В. Грич, Б.С. Портной // Холодильна техніка та технологія. – 2016. – Т. 51, Вип. 1. – С. 71-7.
3. Радченко Р.Н., Грич А.В. Двухступенчатое охлаждение приточного воздуха газовых двигателей тригенерационной установки [Текст] / Р.Н. Радченко, А.В. Грич // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 6. – С. 103–107.
4. Радченко, Н.И. Ступенчатое кондиционирование воздуха на входе рекуперативных ГТД утилизацией теплоты выпускных газов. [Текст] / Н.И. Радченко, С.А. Кантор, Рамзи Ел Герби // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 3 (110). – С. 86–90.
5. Ткаченко С.Й. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії/ Ткаченко С.Й., М.М.Чепурний, Н.В. Пішеніна. – Вінниця: Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/ejournals/NNTU/2010-1failes/uk/.htn>. – С.54-57
6. Морозюк Л. И. Термодинамический анализ каскадных холодильных машин с R744в верхнем каскаде/ Л. И. Морозюк // Холодильна техніка та технологія. – 2016. – Т. 52, Вип. 1. – С. 12-17.

AIR CONDITIONING SYSTEM WITH DEEP TWO-STAGE AIR COOLING OF THE ENGINE ROOM OF THE INTEGRATED THERMAL POWER PLANT

Hrych Artem Ph.D., Ostapenko Oleksii, Ph.D.

Department of Air Conditioning and Refrigeration

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The efficiency of cooling intake air of engine room for cogeneration gas engines of trigeneration plant for integration power supply has been analyzed. Two-stage cooling air with the use of coolant from

cascade absorption-vapour compression chiller and a coolant with lower temperature received in combined two-stage waste heat recovery chiller is discussed. The approaches of heat humidity treatment of engine room intake air that provide its deep cooling have been proposed as a result of analysis.

Key words: cooling, trigeneration plant, engine room, gas engine, air cooler.

УДК 629.5

ЗАСТОСУВАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ В СЕУ

Зубко І.В., Булдаков А.В.

*магістранти енерготехнічного факультету
Херсонська філія Національного університету кораблебудування
ім. адм. Макарова м. Херсон, Україна*

Анотація. Метанол і етанол за своїми фізико-хімічними властивостями близькі до бензинів. Зокрема, вони мають підвищену випаровуваність, порівняно невисокі щільність і в'язкість, прийнятні для двигунів з примусовим займанням октанові числа (91-92 одиниці по моторному методу). Позитивною властивістю спиртів є наявність в їх молекулах атомів кисню. Тому спирти використовуються в якості оксигенатів (кисневмісних компонентів), що підвищують детонаційну стійкість бензинів і сприяють зниженню викидів сажі і монооксиду вуглецю як в бензинових двигунах, так і в дизелях.

Ключові слова: метанол, двигун, дизель, суднова енергетична установка

Одним з найбільш перспективних спиртових палив для дизелів є метанол. Його виробництво можливо практично з будь-якої сировини, що містить вуглець. Для виробництва метанолу є великі сировинні ресурси, його вартість в порівнянні з іншими альтернативними паливами порівняно невисока. Крім того, метанол як паливо для дизелів дозволяє вирішити проблему зниження викидів оксидів азоту і, особливо, твердих. Це пояснюється тим, що при згорянні метанолу не виділяються проміжні продукти, з яких потім утворюються ароматичні і ацетиленові вуглеводні, які сприяють зародженню і росту часток сажі. У продуктах згорання метанолу практично немає і сірчистих сполук.

Метанол може змішуватися з бензином в будь-яких пропорціях і служити основою для ефірної добавки – метилтретбутиловий ефіру (МТБЕ). Дослідженню роботи бензинових двигунів на сумішах бензину з метанолом (М15 – 15 % метанолу, М85 – 85 % метанолу та ін.), а також на чистому метанолі (М100) проведенні найбільшими американськими і європейськими двигунобудівними фірмами – Ford, General Motors, Pontiac, Chrysler, Mercedes-Benz Volkswagen, Fiat, Chevrolet, Volvo. В Японії роботи в даному напрямку проведено фірмами Mitsubishi, Honda, Toyota, Hyundai, Hino Motors. Позитивні якості метанолу – можливість його отримання з будь-якого вуглеводневої сировини (природний газ, вугілля, відходи міського сміття, біомаса і ін.), низька пожежонебезпека, а недолік – його

висока токсичність. Паливо для двигуна ME-LGI класифікується за типом пари при 60 °C. Впорскування палива здійснюється за допомогою паливної форсунки (Booster Fuel Injection Valve (BFIV)) з використанням гідравлічного тиску 30 МПа для підняття тиску палива до тиску впорскування, роботу такої форсунки показано на рис. 1.

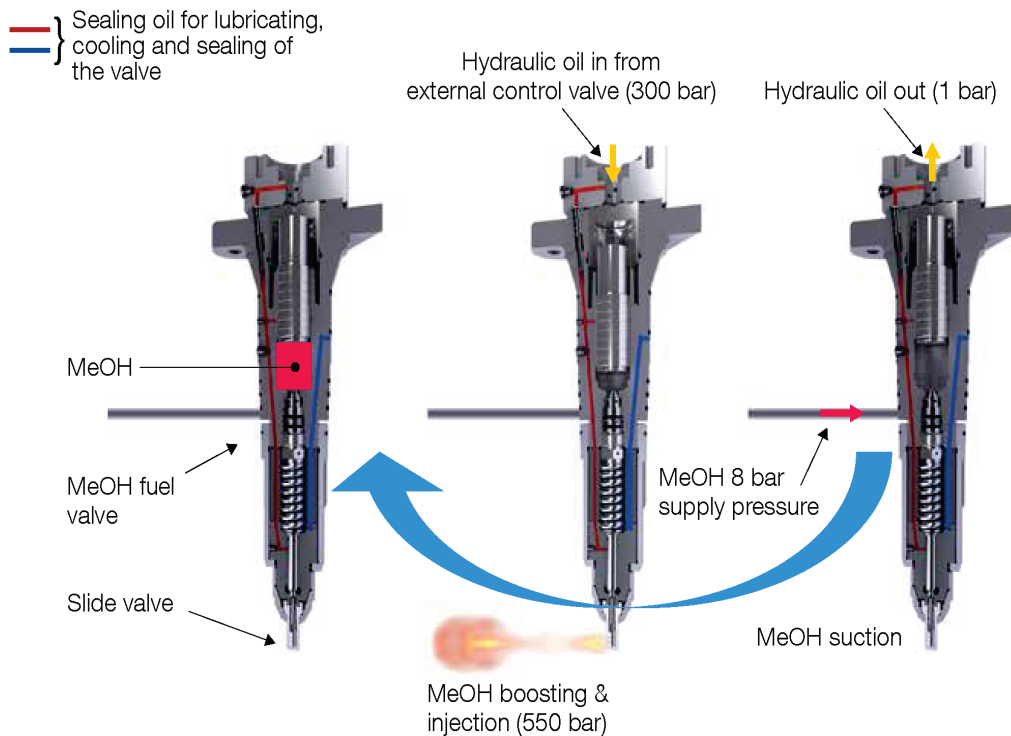


Рисунок 1. Принцип роботи паливної форсунки (BFIV) для метанолу

У той же час сторона охолоджуваного масляного насоса буде переключена на очищене системне масло, а контур масла буде промитий чистим маслом. Потім, чисте масло буде зібрано разом із забрудненим в резервуарі для охолодження масла, і система зможе продовжувати працювати лише тоді, коли в баку не буде виявлено метанолу. Метанол має температуру спалаху 11 °C, що не відповідає безпеці мореплавства на морі (SOLAS). Однак, використовується подвійна конструкція стін всіх метанольних компонентів, і всі витоки контролюються і збираються в подвійному бар'єрі. Обробляти метанол у процесі паливopідготовки набагато легше, ніж LNG.

Щоб забезпечити правильну температуру BFIV, масло охолоджується в теплообміннику, який з'єднаний, наприклад, з низькотемпературною системою охолодження. Коли вводять паливо, стан згорання контролюється за допомогою датчиків середнього тиску (pressure mean indicator (PMI)), що знаходяться в кожній кришці циліндра. Тиск нагнітання становить приблизно 50 МПа. Три режими згорання контролюються.



Рисунок 2 Кришка циліндрів, оснащена інжекторами паливних підсилювачів та блоком керування LCI (всі труби паливного блоку є двостінними)

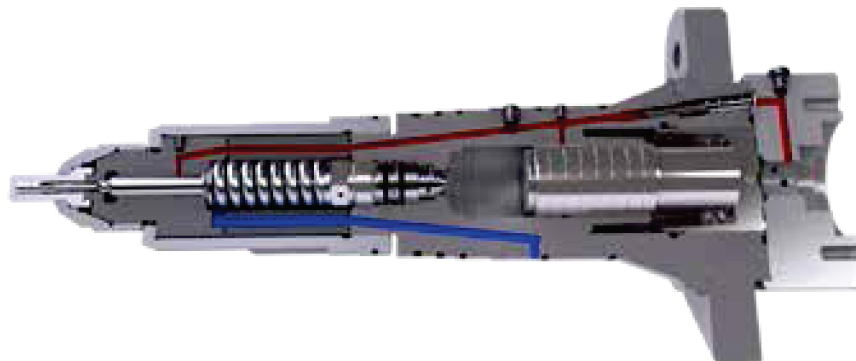


Рисунок 3. Форсунка для впорскування метанолу (інжектор з маслом охолодження (нижній канал) і герметизуюче масло (верхній канал))

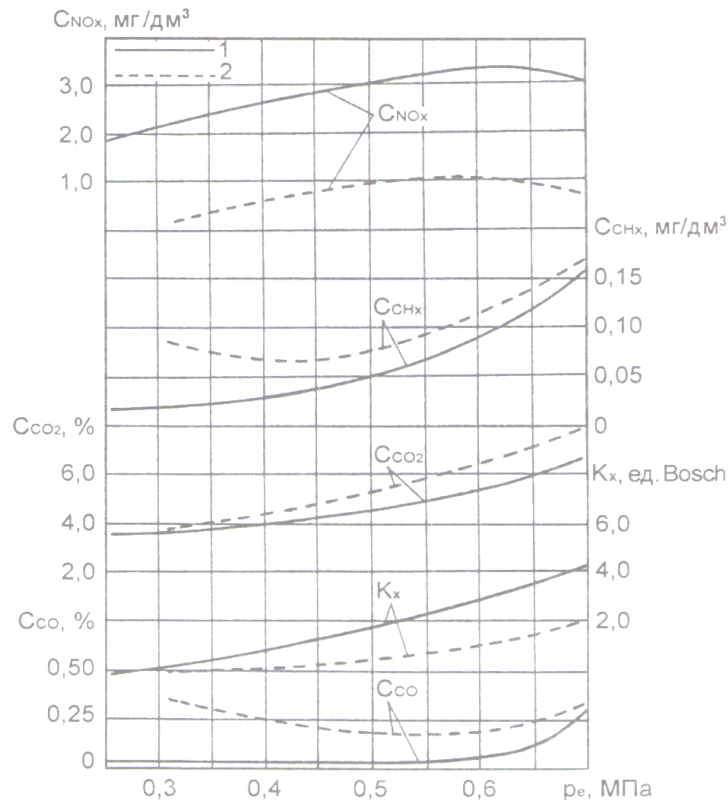


Рисунок 4. Залежність змісту в відпрацьованих газах оксидів азоту C_{NOx} , монооксиду C_{CO} і діоксиду C_{CO_2} вуглецю, вуглеводнів C_{CHx} , димності K_x від навантажувального режиму (середнього ефективного тиску p_e) дизеля Д21А1, що працює на дизельному паливі (1) і на метанолі з запальний дозою дизельного палива (2) на режимі з $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$

Висновок: для покращення екологічних показників сучасних МОД є можливість використовувати альтернативні палива. Серед них метанол, для використання даного виду палива існує підготовлена база у вигляді існуючих двигунів MAN LGI. Одночасно, використання метанолу дає можливість покращити екологічні характеристики ДВЗ, а також слугує альтернативою нафтовим паливам.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Dual-Fuel ME-GIE Successfully Runs on Ethane [Електронний ресурс] /<http://powerplants.man.eu/media-download/press-releases/news-detail/2017/05/16/dual-fuel-me-gie-successfully-runs-on-ethane>. Режим доступу на 29.05.2017.
2. Fuel Flexibility Done Right MAN B&W ME-GI-S and MAN B&W ME-LGI-S for stationary applications [Електронний ресурс] /http://powerplants.man.eu/docs/librariesprovider7/technical-papers/5510-0169-00ppr_low.pdf?sfvrsn=28. Режим доступу на 22.06.2017.

3. Using Methanol Fuel in the MAN B&W ME-LGI Series [Электронный ресурс] /http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/5510-0172-00ppr_using-methanol-fuel-in-the_low.pdf?sfvrsn=18. Режим доступу на 22.06.2017.
4. MANCHAC SUN: Methanol-fuelled methanol carrier [Text] // Significant ships of 2016. — Stephen and George, Gost Mill Road, Dowlais, Merthyr Tydfil, CF48 3TD, Wales. — 2017.
5. CEAS Engine Data report 7S50ME-LGIM (methanol) with high load tuning [Электронный ресурс] /<http://marine.man.eu/two-stroke/ceas>. Режим доступу на 22.06.2017.
6. Ткач, М. Р. Эффективность утилизации низкопотенциального тепла металлгидридными установками непрерывного действия / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С.М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Авиационно-космическая техника и технология – 2014. – № 9(116). – С. 39–44.
7. Влияние регенерации энергии на эффективность утилизации низкопотенциального тепла металлгидридной установкой непрерывного действия / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С.М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Двигатели внутреннего сгорания – 2014. – № 2. – С. 57–62.

APPLICATION OF ALCOHOL FUELS IN SEU

Zubko IV, Buldakov AV
undergraduates of the Faculty of Energy Engineering
Kherson branch of the National University of Shipbuilding
them. adm. Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. Methanol and ethanol are similar to gasolines in their physicochemical properties. In particular, they have high evaporation, relatively low density and viscosity, acceptable for engines with forced ignition octane numbers (91-92 units by the motor method).

A positive property of alcohols is the presence of oxygen atoms in their molecules. Therefore, alcohols are used as oxygenates (oxygen-containing components), which increase the detonation resistance of gasoline and reduce emissions of carbon black and carbon monoxide in both gasoline engines and diesels.

Key words: methanol, engine, diesel, marine power plant

УДК 624

УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ЯК ШЛЯХ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕУ

Онищенко В.В., Терех Р.В.

*магістранти енерготехнічного факультету
Херсонська філія Національного університету кораблебудування
ім. адм. Макарова м. Херсон, Україна*

Анотація. Температурно-тепловий потенціал головного двигуна дозволяє використовувати частину теплоти відпрацьованих газів та інших вторинних енергоресурсів (надувного повітря, води зарубашкового простору та охолоджуючого масла) для виробництва додаткової механічної потужності. Таке виробництво можливо здійснювати у водо парових енергетичних установках, де робочим тілом є вода та водяний пар. При цьому теплоту пропонується використовувати для продукування пару в утилізаційному котлі, потім направляти пар в парову турбіну, де його енергія перетворюється в механічну роботу, яку можна направити на гребний гвинт через спеціалізований редуктор, або для роботи електричного генератора, що дозволить мати додаткове джерело електричної енергії на судні (коли в цьому є необхідність).

Ключові слова: утилізація енергії, двигун, теплова установка, водопарова теплоутилізуюча установка.

Більше 50% теплової енергії, одержуваної при згорянні палива, сьогодні перетворюється на корисну роботу (рис 1), що забезпечує рух судна. Приблизно половина відпрацьованого тепла представляє додатковий ресурс енергії, яку теоретично можна використовувати на судні для виробництва пари та електроенергії, необхідних для обігріву та роботи допоміжного обладнання.

Найбільш ємною (25,5%) і привабливою залишається теплова енергія, вихлопних газів. Однак у зв'язку з удосконаленням робочого процесу двигунів і зменшенням питомої витрати палива температурний потенціал газів неухильно знижується і це створює певні труднощі в його використанні.

Забезпечення парою або гарячою водою господарсько-побутових та інших споживачів на судах проводиться системами теплопостачання, що складаються з джерел теплової енергії, трубопроводів і різних апаратів. Джерелами тепла на судах в ходовому режимі є утилізаційні котли, що працюють на випускних газах. Якщо їх продуктивність недостатня, підключають допоміжні котли, що працюють на рідкому паливі. На суховантажних судах при використанні тепла випускних газів тільки в системах теплопостачання, теплові схеми утилізації зазвичай виходять надмірними. Те ж саме має місце і на танкерах при використанні пари тільки на загальносуднові потреби.

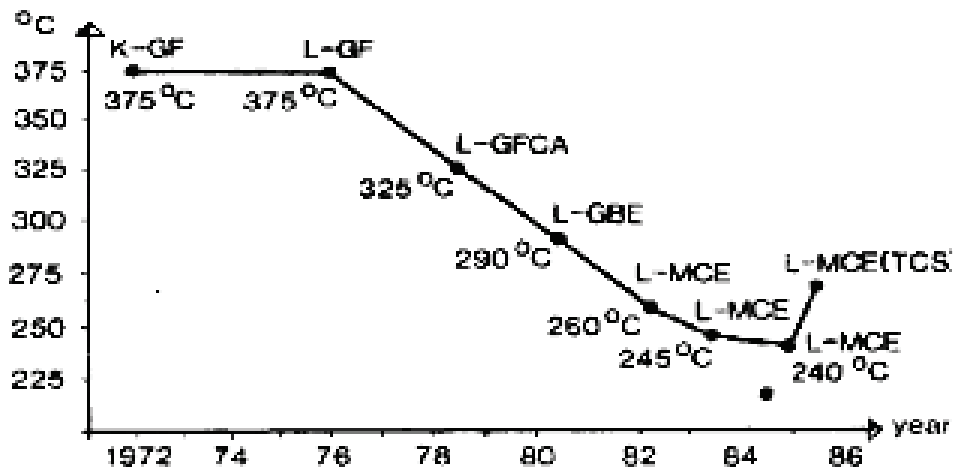


Рисунок 1 Зміна температури вихлопних газів за ГТК

Також, розглянуте падіння тиску в байпасі вихлопних газів, що входить до складу ВТУ, може бути використане для виробництва електроенергії за допомогою силової турбіни. Основна схема та елементи ВТУ показані на рис. 2.

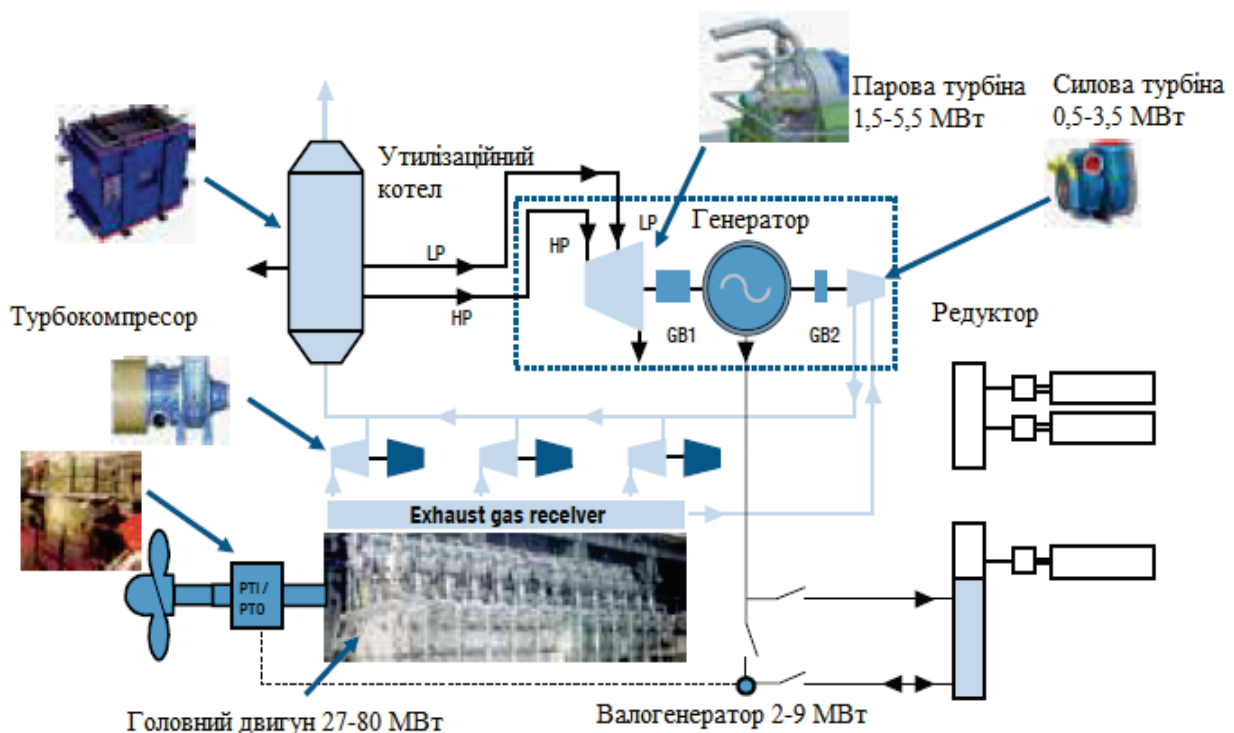


Рисунок 2 Основна схема та елементи водопарової теплоутилізуючої установки

Водопарова теплоутилізуюча установка складається з різних компонентів, в ній може бути використана як самостійна так і комбінована схеми. Вибір типу системи залежить від попиту на електроенергію на борту судна (електричне навантаження на морі), рівномірності навантаження судна (години при різних навантаженнях основного двигуна на морі), прийнятного часу окупності пропонованого рішення ВТУ і простору, доступного на судні та деяких інших факторів.

Дуже важливою частиною вибору найбільш раціонального проекту ВТУ для судна є вибір оптимальної потужності головного двигуна і обертів на судні гребного гвинта, щоб забезпечити мінімально можливе споживання палива при найбільш використовуваних режимах роботи судна.

Зв'язок між основним двигуном та ВТУ можна побачити на рис. 3, де показано також потік вихлопних газів між двигуном, турбокомпресором та утилізаційним котлом.

Для пристроїв ВТУ необхідні два з'єднання вихлопного каналу. Основою для цієї схеми з'єднань між двигуном та компонентами ВТУ є двосторонній зв'язок, оскільки спочатку керування повинно захищати двигун від неприйнятних умов, а по-друге – забезпечити максимальну доступну потужність для ВТУ. Таке управління відбувається за допомогою контролю параметрів обвідного потоку вихлопного газу, зберігаючи його у прийнятних межах.

Тип судна, розмір, діапазон швидкості, тип головного двигуна, його особливості, робочі параметри, електрична потужність, необхідна у морі, потреба в електричній потужності на судні (РТИ) та/або зняття потужності (РТО), наміри щодо використання відновленої енергії відпрацьованих газів, використання електричної потужності при різних режимах роботи валогенератора, необхідна кількість пари на морі, умови плавання (тропічні, ISO та арктичні) та деякі інші фактори.

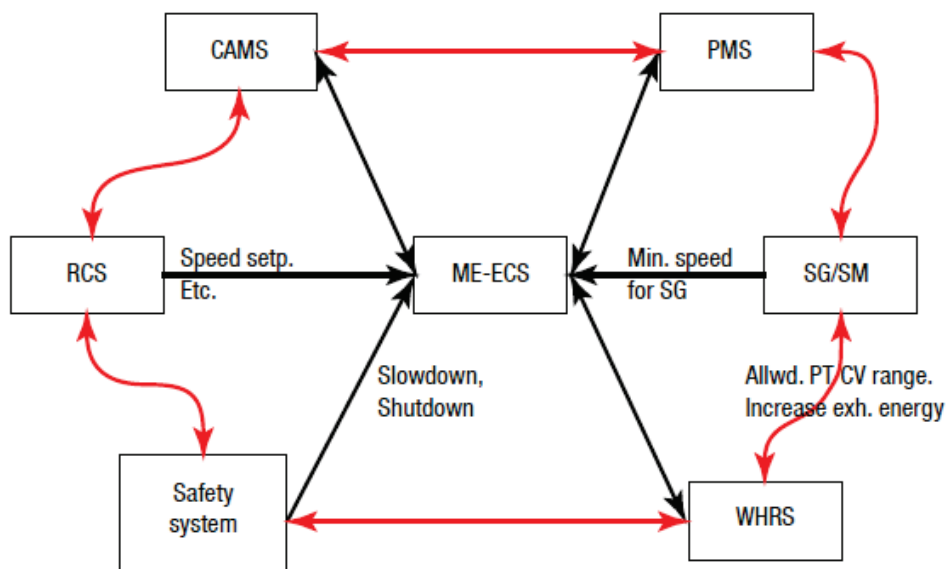


Рисунок 3 Схема системи контролю судів, яка зазвичай знаходиться на борту великого судна

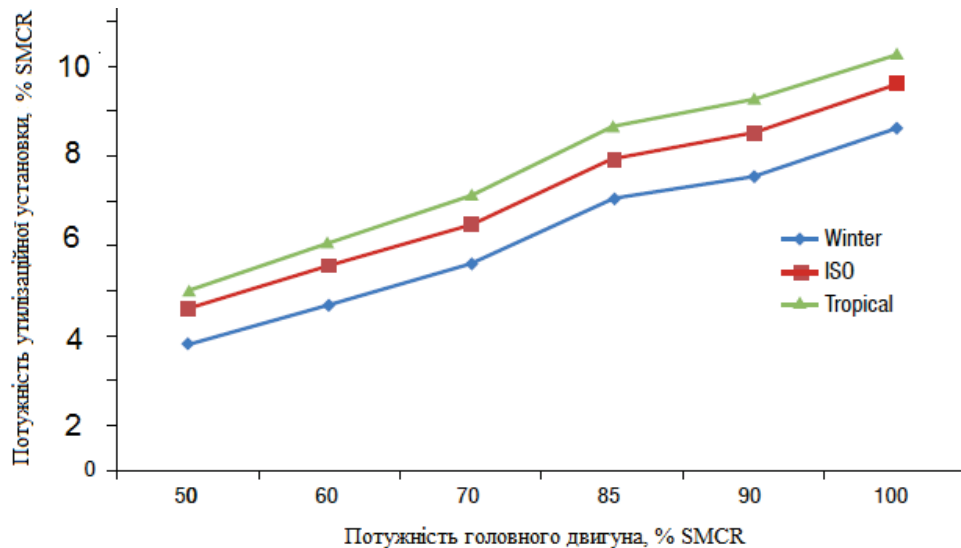


Рисунок 4 Кількість відновленої потужності

(Головний двигун MAN 10S90ME-C9.2, потужність 48510 кВт, байпасовано 11,6% відпрацьованих газів, доля відновленої потужності 8,6% при 90% SMCR, витрата пари: 1.0 тон/год)

Висновок:

Виробництво додаткової потужності 8-10 % від потужності головного двигуна еквівалентно зниженню питомої витрати палива суднової енергетичної установки до:

$$g_e^m = \frac{g_e \times Ne}{Ne + Nut} = \frac{0,182 \times 9957}{9957 + 900} = 0,167 \text{ кг/(кВт год)}$$

Заниження питомої витрати палива дозволить досягти підвищення ефективності експлуатації енергетичної установки судна.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Логачев С.И., Чугунов В.В.* Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Судостроение, 2001. – 312 с.
2. *Океан и океанотехника/ А.И. Новиков, В.М. Горбов, В.А. Орлов и др.; под общ. ред. А.И. Новикова.* – Севастополь: Издатель Кручинин Л.Ю., 2010. – 436 с.
3. *Суднова енергетика та Світовий океан: Підручник/ В.М. Горбов, І.О. Ратушняк, Є.І. Трушляков, О.К. Чередніченко; За ред. В.М. Горбова.* – Миколаїв: НУК, 2007. – 596 с.
4. *Артемов Г.А., Горбов В.М.* Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
5. *Marine Engine IMO Tier II. Programme 2nd edition 2013.* – MAN Diesel & Turbo, August 2013. – 172 p. (www.mandieselturbo.com)
6. *2012. Marine Solutions. Wartsila.* – 148 p. (www.wartsila.com)
7. *Mitsubishi UE Engine / Line up* (www.mhi.co.jp/en/products/expand/mitsubishi-ue_diesel_engine_01.html).

8. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт/ *В.П. Шостак, В.І. Гершанік, В.П. Кот, М.С. Бондаренко*; за ред. *В.П. Шостака*: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 500 с.

9. MAN B&W G45ME-B9.3-TII Project Guide. Electronically Controlled Two-stroke Engines with Camshaft Controlled Exhaust Valves. – 1st Edition, April 2013. – 355 p. (www.mandieselturbo.com).

UTILIZATION OF SECONDARY ENERGY RESOURCES AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SEU

Onishchenko VV, Terekh RV
undergraduates of the Faculty of Energy Engineering
Kherson branch of the National University of Shipbuilding
them. adm. Makarov, Kherson, Ukraine

Abstract. The temperature and thermal potential of the main engine allows to use part of the heat of exhaust gases and other secondary energy resources (inflatable air, water of the space and cooling oil) to produce additional mechanical power. Such production can be carried out in water-steam power plants, where the working fluid is water and steam. It is proposed to use the heat to produce steam in the recovery boiler, then send steam to the steam turbine, where its energy is converted into mechanical work, which can be sent to the propeller through a specialized reducer, or to operate an electric generator, which will have an additional source of electricity on board (when necessary).

Key words: energy utilization, engine, thermal installation, water – steam heat – utilizing installation.

УДК 628.31

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Иванов А.А.

магістрант групи 5220 мз

Херсонської філії

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Херсон, Україна, shender499@gmail.com*

Свиридов В.І.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри суднового машинобудування та енергетики

Херсонської філії

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Херсон, Україна, vsviridov1951@gmail.com*

Анотація. В роботі розглянуто питання охорони навколишнього середовища, що на сьогоднішній день є актуальним при експлуатації світового флоту. Розглянуто конвенційні вимоги екологічної безпеки морського транспорту, а також складові забруднення атмосфери викидами оксидів азоту (NOx) і сірки. Запобігання забрудненню моря за рахунок впровадження на судах різних сучасних технологій і техніки.

Ключові слова: світовий океан, морський транспорт, вимоги конвенції, експлуатація.

Міжнародна морська організація (ІМО) скликала Конференцію Сторін МАРПОЛ 73 / 78. Мета Конференції складалася в розгляді та прийнятті протоколу про зміну МАРПОЛ 73/78 шляхом додавання нової програми, щодо запобігання забруднення повітряного середовища з суден.

Світовий океан (взаємопов'язана система океанічних вод Землі) грає одну з провідних позитивних ролей в житті людини, в тому числі завдяки кліматичній системі. Ті збитки, які наносяться транспортом мають далекосяжні наслідки з точки зору продуктивності, різноманітності видів та життєстійкості. Така діяльність, здійснювана в Світовому Океані, створює загрозу для людства (1).

Морський транспорт на сьогоднішній день є одним з основних джерел постійного забруднення морського середовища і підвищеної загрози розливів нафти, які можуть завдати непоправної шкоди легко вразливій природі.

Екологічна небезпека морського транспорту складається з двох складових – експлуатаційної і аварійної. Дуже важко сказати, які з них найбільш небезпечні для навколишнього середовища. Забруднення, що виникають в процесі експлуатації суден, портів і судноремонтних підприємств, утворюються і скидаються постійно, хоча і у відносно невеликих кількостях. При аварійних розливах відбуваються залпові скиди великої кількості забруднювачів, але вони обмежені районом аварії і прилеглими територіями.

При аварійному скиданні спостерігається масова загибель мешканців моря, а при експлуатаційних забрудненнях відбувається хронічне отруєння всього моря.

У 2008 р ІМО ратифікувала пакет заходів до 2025 р, який вступив в силу з 01.07.2007 р, по скороченню викидів з суден в атмосферу оксидів сірки і азоту, озоноруйнуючих речовин, твердих частинок, летких органічних сполук. Згідно з Додатком VI до Конвенції МАРПОЛ 73/78, нормованими для суднових двигунів параметрами є викиди оксидів азоту (NO_x) і сірки. У процесі згоряння палива в двигуні утворюється цілий ряд з'єднань, що викидаються в атмосферу, але самими шкідливими є оксиди азоту. У дизельному двигуні вони становлять від 30 до 80% обсягу викидів [5].

З 2000 р суднові двигуни на стадії виготовлення проходять випробування на вміст NO_x у відпрацьованих газах і отримують т.н. технічний сертифікат, де вказуються еталонні значення для різних режимів роботи. До 2010 р діяв стандарт Рівня I, який допускав 17 г NO_x на кВт / год, зараз діє стандарт Рівня II, що допускає 14,4 г / кВт / год, а з 2016 р вступив в силу стандарт Рівня III (3,4 г NO_x на кВт / год), що встановлюється для районів контролю викидів NO_x, який застосовується до суден, побудованим після 01.01.2016 р

Районами контролю викидів є узбережжя США і Канади, а також район Карибського моря США. Проблеми забезпечення екологічної безпеки в зонах контролю викидів оксидів

сірки Конвенцією МАРПОЛ 73/78 допускається використання палива з вмістом сірки до 0,1%. такими районами є узбережжя США і Канади, район Карибського моря США, а також Балтійське і Північне моря.

Вміст сірки зараз в паливі має становити не більше 0,5% і ця вимога поширюватиметься на весь Світовий океан. Усі судна, побудовані після вступу в силу міжнародної Конвенції МАРПОЛ 73/78 повинні задовольняти її вимоги в частині охорони навколишнього середовища; судна, повинні бути піддані модернізації з метою приведення їх у відповідність до положень Конвенції МАРПОЛ 73/78 і національних правил з охорони навколишнього середовища. До основних експлуатаційних суднових забруднювачів можуть бути віднесені нафтоутримуючі і стічні води, сміття і шкідливі викиди в атмосферу.

Судна, які здійснюють міжнародні рейси, обладнані ємностями для збору забруднених вод і контейнерами для збору сміття і / або установками для очищення води від нафти, для обробки стічних вод і інсинераторами для спалювання сміття.

Кількість суднових відходів залежить від дедвейту і типу судна, його віку, якості обслуговування і кількості членів екіпажу. Кількість відходів сепарації нафтових палив залежить від типу використовуваного палива і орієнтовно може бути оцінений як 1,5-2,0% щоденної витрати палива при роботі на важкому паливі і близько 0,5% при роботі на середньв'язкому паливі. При цьому залишки бруду в паливних танках можуть досягати 7% від кількості, що знаходиться в ньому важкого палива.

Кількість ляльних вод, що утворюються на транспортному судні, залежить від потужності двигуна, його технічного стану, віку судна і кваліфікації персоналу і оцінюється 0,1...1 куб. м / добу, а для суден каботажного плавання – 0,1...0.3 куб. м / добу. Кількість стічних вод оцінюється рівним 100 л / людину в день, побутового сміття – 1,5-3,5 кг / людину в день, експлуатаційного сміття (відкладення з двигунів, стара фарба, ганчір'я тощо) – 10-15 кг / день. Сміття, що виникає, оцінюється для суден з генеральними вантажами – 1 т на 200 т вантажу, для контейнеровозів 1 т на 25000 т вантажу і навалювальників – 1 т на 10000 т вантажу.

Якщо на борту судна є інсинератори, то частина нафтозалишків і сміття, в тому числі і харчові відходи, спалюються на борту судна, а негорючі відходи і шлами, що накопичилися після обробки стічних вод, здаються на берегові приймальні споруди в портах. Джерелами забруднення атмосфери з суден є викиди з енергетичних установок окислів сірки і азоту, вуглецю, озоноруйнуючих речовин.

Запобігання забрудненню моря можливо забезпечити лише за рахунок впровадження на судах різних сучасних технологій і техніки, ось чому потрібні послуги портових приймальних споруд, які часто є складовою частиною міських споруд по переробці відходів.

Висновки

В даний час, підхід при забезпеченні екологічної безпеки активно розвивається, як на державному, так і на корпоративному рівнях, а також на рівні окремих підприємств. Багато в чому дана тенденція викликана змінами в міжнародному стандарті ISO 14001, на основі якого розробляються локальні стандарти, редагується європейський стандарт EMAS, коригується стандарт BS 8555.

Покращення сучасних технологій дозволить зменшити ризики забруднення біосфери Світового океану до мінімуму.

Список використаної літератури

1. Why a GOOS? In: The Global Ocean Observing System [website]. Paris: Global Ocean Observing System, Intergovernmental Oceanographic Commission; 2019 http://www.goosocean.org/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=109, accessed 13 April 2019).
2. Halpern BS, Longo C, Zeller D. An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*. 2012;488:615–620
3. How many oceans are there? In: Ocean facts [website]. Silver Spring (MD): National Ocean Service; 2018 (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/howmanyoceans.html>, accessed 13 April 2019).
4. 2017 HLPF thematic review of SDG 14: conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development. New York: High-level Political Forum; 2017 (<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/14375SDG14format-revOD.pdf>, accessed 13 April 2019)
5. Пашинин Г., Ялышко Р. Система газового выхлопа нового поколения для защиты экологии // Морская биржа. 2014. № 4 (50) [www.maritimemarket.ru/article.php?id=1895]

ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE OPERATION OF MARITIME TRANSPORT

Ivanov A.

undergraduate group 5220 mz

Kherson branch

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Kherson, Ukraine, shender499@gmail.com

Sviridov V.

candidate of technical sciences, Associate Professor of Ship Engineering and Energy

Kherson branch

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Kherson, Ukraine, vsviridov1951@gmail.com

Abstract. The paper considers the issues of environmental protection, which today is an important issue in the operation of the world fleet. Conventional requirements for environmental safety of maritime transport,

as well as components of air pollution by emissions of nitrogen oxides (NO_x) and sulfur are considered. Prevention of marine pollution through the introduction of various modern technologies and equipment on ships.

Key words: world ocean, sea transport, requirements of the convention, operation.

УДК 621.57

ДВУХПОТОЧНАЯ ЭЖЕКТОРНО-АБСОРБЦИОННАЯ СИСТЕМА ТРАНСФОРМАЦИИ СБРОСТНОГО ТЕПЛА ГАЗОПОРШНЕВОГО МОДУЛЯ

Остапенко А.В., канд.тех.наук., **Грич А.В.** канд.тех.наук

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Украина, Николаев

0000-0001-7343-6743, 0000-0002-2142-3665

Аннотация. Выполнен анализ существующей системы трансформации сбросной теплоты ГД в холод. Установлены значительные потери тепла. Предложена двухпоточная система с абсорбционной и эжекторной холодильными машинами, совместное использование которых дает сокращение потерь теплоты на 20% и прирост холодопроизводительности системы на 7% при тепловом коэффициенте ЭХМ равным 0,2

Ключевые слова: тригенерация, абсорбционная холодильная машина, эжекторная холодильная машина, утилизация теплоты.

Введение

Газовые двигатели (ГД), работающие на природном газе и альтернативных газообразных топливах (биогаз и т.п.), находят все более широкое применение в установках автономного энергообеспечения. Ведущие двигателестроительные фирмы выпускают когенерационные модули – со штатными теплообменниками для получения горячей воды или водяного пара за счет использования теплоты выпускных газов, наддувочного воздуха или газозоообразной смеси (ГВС), охлаждающей рубашку двигателя воды и смазочного масла [1, 2]. Хотя когенерационные модули легко интегрируются в системы тепло- и хладоснабжения конкретных объектов, однако анализ энергетической эффективности таких тригенерационных систем показывает наличие потерь теплоты и обусловленную ими недовыработку холода из-за несоответствия температурных условий эффективной работы термотрансформатора, чаще всего на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ), и когенерационного газопоршневого модуля.

Основная часть

Решение задачи повышения эффективности трансформации теплоты ГД в холод рассматривалось на примере тригенерационной установки автономного электро-, тепло- и

холодообеспечения завода ООО "Сандора"—"Pepsico Ukraine" (г. Николаев, Украина). Тригенерационная установка включает 2 когенерационных газовых двигателя JMS 420 GS-N.LC GE Jenbacher (электрическая мощность одного ГД 1400 кВт, тепловая мощность 1500 кВт), Теплота горячей воды трансформируется абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной (АБХМ) AR-D500L2 Century в холод, который расходуется на технологические нужды и для работы центральных кондиционеров, обеспечивающих охлаждение воздуха в машинном отделении.

При температуре обратной (охлажденной) воды на выходе из АБХМ, например $t_{обр} = 75...80^{\circ}\text{C}$, т.е. выше ее спецификационного значения $t_{обр,сп} = 70^{\circ}\text{C}$ на входе в теплообменники ГД, обеспечивающего оптимальное тепловое состояние ГД, часть обратной воды охлаждается в охладителе обратного теплоносителя (ОТН) с отводом избыточной теплоты в атмосферу градирней 2. Возвращать избыточную теплоту в АБХМ нецелесообразно из-за ее пониженного температурного уровня, $t_{обр} = 75...80^{\circ}\text{C}$, по сравнению с спецификационной температурой горячего теплоносителя на входе АБХМ: $t_{г,сп} = 90...95^{\circ}\text{C}$, поскольку понижение температуры горячего теплоносителя на входе АБХМ вызывает ухудшение эффективности трансформации тепла в холод – снижение теплового коэффициента ζ , представляющего собой отношение полученного холода к затратам тепла.

При этом, потери теплоты, т.е. теплота, отведенная от обратного теплоносителя после АБХМ в атмосферу градирней 2 аварийного выброса из-за нецелесообразности его подачи в ГД с температурой $t_{г}$ выше 70°C , весьма значительные и составляют примерно 30 % ее общего количества полученного от ГД, что свидетельствует о наличии резервов совершенствования системы трансформации сбросной теплоты ГД в холод путем сокращения этих потерь.

Для сокращения этих потерь была разработана система трансформации сбросного тепла газового двигателя в холод эжектроной и абсорбционной бромисто-литиевой холодильными машинами. Схема системы приведена на рис. 1

Целью использования двухпоточной системы является повышение температуры теплоносителя на выходе из УК. Так для схемы с одной АБХМ при распределены расходов обратного теплоносителя 60/40%, то есть 40% от базового расхода подается после АБХМ напрямую к УК в обход ОТН, а 60% подается в ОТН где избыточное тепло сбрасывается в атмосферу и после этого теплоноситель с температурой 70°C подается на охлаждение узлов ГД, можно достичь температуры на выходе из УК 95°C , что позволяет увеличить тепловой коэффициент АБХМ, и незначительно повысить количество теплоты отведенное от теплоносителя в генераторе АБХМ и как следствие увеличить базовую холодопроизводительность установки. Предложенная схема включает также ЭХМ,

испарительная секция генератора ЭХМ которой расположена на ветке теплоносителя, который идет от ГД перед АБХМ, а экономайзерная секция – после АБХМ. Схема предложенной системы трансформации показана на рис.1

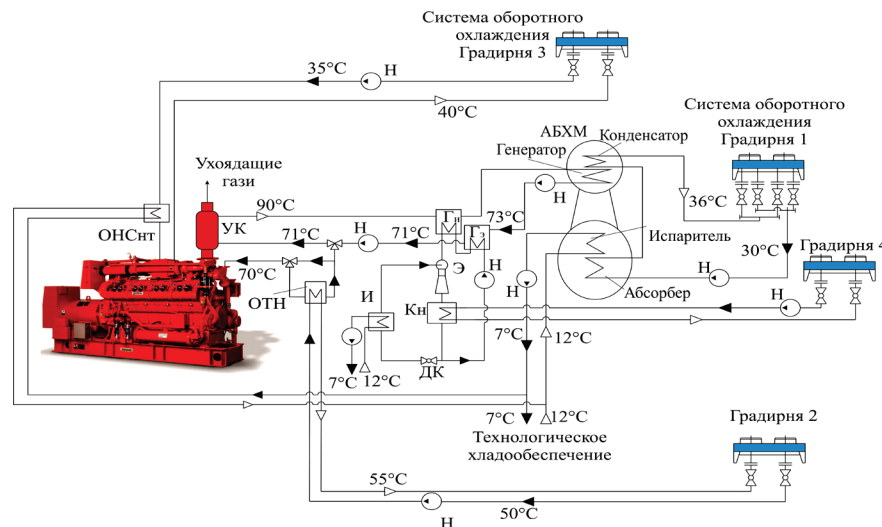


Рис. 1 – Схема разработанной системы трансформации теплоты ГПД в холод в ЭХМ и АБХМ с двухпоточной подачей обратного теплоносителя: УК – утилизационный котел; ОТН – охладитель теплоносителя; Н – насос; Э – эжектор; И – испаритель; Кн – конденсатор; Г – испарительная и экономайзерная секции генератора пара высокого давления ЭХМ; ДК – дроссельный клапан

Так как с увеличением теплоты используемой в генераторе ЭХМ уменьшается температура обратного теплоносителя на входе в ГПД, то применение двухпоточной схемы подачи обратного теплоносителя не целесообразно были проведены расчеты изменения температур на входе и выходе из основных элементов системы в зависимости от количества использованной теплоты в ЭХМ (рис.2), по которой можно определить оптимальную нагрузку на ЭХМ

Как видно из рис 2 при использовании 20% общей теплоты от ГД в ЭХМ, можно получить эффективность работы базовой АБХМ и дополнительно прирост холодопроизводительности от ЭХМ (7% от базовой при $\zeta_{ЭХМ} = 0,2$ или 14% от базовой при $\zeta_{ЭХМ} = 0,4$). Но из-за наличия двухпоточные схемы присутствуют также потери теплоты (так как кроме роста температуры теплоносителя на выходе из УК наблюдается рост температуры обратного теплоносителя, и потребности снижения ее к 70 °С, которые составляют 15% теплоты ид ГД в случае использования в ЭХМ 20% общей теплоты от ГД в ЕХМ. В попытке снизить эти потери и увеличить использование теплоты в ЭХМ наблюдается снижение температуры теплоносителя на входе АБХМ и как следствие снижение теплоты используемой и трансформируемой в ней в холод. В результате суммарная холодопроизводительность АБХМ и ЭХМ снижется.

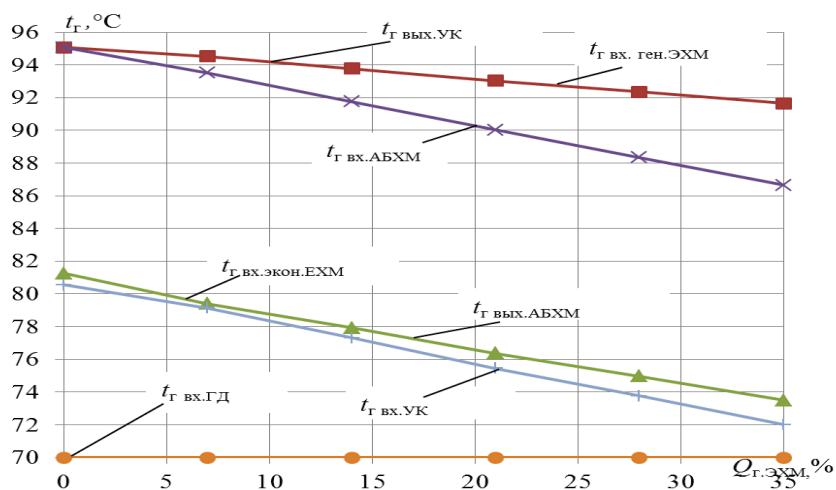


Рис. 2 – Температуры теплоносителя на входе и выходе основных элементов системы трнсформации в зависимости от количества использованной теплоты в ЭХМ

$t_{г\text{ вых.УК}}$, $t_{г\text{ вх.ген.ЕТТ}}$ – температура на выходе с УК и входе в генераторную секцию ЭХМ;
 $t_{г\text{ вх.АБХМ}}$ – температура на входе в АБТТ; $t_{г\text{ вх.экон.ЭХМ}}$, $t_{г\text{ вых.АБХМ}}$ – температура на выходе из АБХМ, входе в экономайзерную секцию ЭХМ; $t_{г\text{ вх.УК}}$ – температура потока с 40% расходом от общего на входе в УК; $t_{г\text{ вх.ГД}}$ – температура потока с 60% расходом от общего на входе в ГПД

Выводы:

Путем трансформации части избыточной теплоты, обычно сбрасываемой в атмосферу, в холод в ЭХМ можно увеличить холодопроизводительность установки трансформации сбросного тепла ГПД используя двухпоточную подачу обратного теплоносителя. При этом важно выбрать оптимальное значение теплоты теплоносителя, используемой в ЭХМ, при котором можно добиться максимальной суммарной производительности ЭХМ и АБХМ.

REFERENCES

- [1] Economic utilization of Biomass and Municipal Waste for power generation. Some energy lasts for generations. – GE Jenbacher Company Overview. – June 13, 2007. – 39 p.
- [2] Elsenbruch T. Jenbacher gas engines a variety of efficient applications / T. Elsenbruch [статья]. – București, October 28, 2010. – 73 p.
- [3] GTI Integrated Energy System for Buildings. Modular System Prototype/ G. Rouse, M. Czachorski, P. Bishop, J. Patel // GTI Project report 15357/65118: Gas Technology Institute (GTI). – January 2006. – 495 p.

TWO-FLOW EJECTOR-ABSORPTION TRANSFORMATION SYSTEM OF THE GAS-PISTON MODULE'S WASTE HEAT

Ostapenko Oleksii., Hrych Artem.

Abstract. The analysis of the existing system of transformation of waste heat of gas piston engine to the cold was made. Established significant heat loss. A two-flow system with absorption and ejector chillers was

proposed, the joint use of which gives a reduction in heat loss by 20% and an increase in system cooling capacity by 7% with an ejector chiller thermal coefficient of 0.2

Keywords: trigeneration, absorption chiller, ejector chiller, heat recovery.

UDC 621.436

ASSESSMENT OF CHANGE IN THERMAL BALANCE OF CONTAINER VESSEL'S POST-TRIPLE E-CLASS ME WHEN SWITCHING TO AMMONIA AS THE MAIN FUEL

Trofymenko D.S.

student

of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Supervisor: Moskovko O.O.

assistant

of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolaiv, Ukraine

dtrofimenko99@gmail.com

Annotation. In this work, the heat balance of the ME is estimated when switching to ammonia. In this work, the calculation by the Grinevetsky-Masing method of the engine operating cycle was carried out to determine its main parameters. Two options for the transition of the vessel to the use of ammonia as the main type of fuel were considered: for already built ships and for new projects. The comparison of heat balances of the most promising engines for Post-Triple E-Class container ships is carried out.

Key words: ammonia, ship power plant, Grinevetskiy-Masing, heat balance.

The maritime sector is responsible for a significant portion of global CO₂ emissions. At the United Nations Conference on Climate Change in 2015, the International Maritime Organization (IMO) has set goals to reduce emissions of CO₂ in the maritime sector by 50% to avoid irreversible and devastating climate changes. Since most of the emissions are caused by burning fossil fuels, it is clear that greener options need to be sought. [1]

Currently, the leading engine companies, MAN Diesel and Wartsila, have launched programs to develop and implement engines that will use ammonia as the main fuel. [2] Ammonia (NH₃), in comparison with other types of traditional fuels, has a number of advantages: it does not contain carbon, has a higher volumetric energy density, burns in the engine without SO_x, CO₂ and particulate matter (PM) emissions, and additional Installing a Catalytic Reactor (SCR) reduces NO_x emissions to ultra-low levels. [3] Along with this, ammonia has some disadvantages: low energy efficiency (compared to traditional fuels), high corrosivity and high toxicity. [4]

The main process of fuel preparation of this fuel is the regasification of liquid ammonia. The author [5], using the example of the 7X82DF engine from Wartsila, calculated the heat balance,

from which it follows that the energy of the fresh water of cooling circuit will not be enough to carry out ammonia regasification when the engine is running at high loads. The aforementioned author calculated the heat balance of the engine running on diesel fuel, however, the author [6] notes that when using ammonia as fuel, the stoichiometric ratio will change to 6.05, such a decrease in the coefficient will affect the heat balance of the engine and affect the amount of heat losses with fresh water, charge air, etc. Based on this, the heat balance needs in-depth analysis.

As an example, a low-speed two-stroke engine 11G95ME-C9.5 ($N_e = 66650$ kW) from MAN was chosen at $n = 80$ rpm. Such engines are installed on the Maersk Post-Triple E-Class large-capacity container ships. The company is one of the participants in the introduction of ammonia for use on their ships.

At the moment, there are no 2-stroke engines running on ammonia, on the basis of which a heat balance could be compiled. Thus, in the author's opinion, it would be advisable to calculate the engine working process using the Grinevetsky-Masing method, since it is based on the well-known principles of thermodynamics and thermochemistry, in a logical sequence it quite fully covers the physical essence of the phenomena occurring in the engine cylinder, and gives a holistic idea of the working process of the internal combustion engine.

However, the method of thermal calculation of the combustion process of Grinevetsky-Masing does not consider complex physicochemical phenomena during combustion, since at present, reliable physicochemical methods have not yet been developed for direct calculation of the fuel combustion process in an internal combustion engine.

At the first stages of the study, for a general understanding of the processes, this approach will be sufficient, but for a more detailed calculation, experimental studies are needed.

The Grinevetsky-Masing method was used to calculate the coefficients that are absent in the publicly available literature for the operating point of the engine corresponding to the power $N_e = 66650$ kW and the rotation speed $n = 80$ rpm. The main parameters of the engine were selected, such as the excess air ratio, the compression ratio, the pressure rise ratio, etc., and parameters such as the effective engine power and the pressure rise ratio were checked, the results obtained were within the permissible error (0.2 %).

Subsequently, the calculation was carried out by the Grinevetsky-Masing method for the 11G95ME-C9.5 engine running on a mixture of ammonia (95%) and diesel fuel (5%). Proceeding from the fact that the calorific value of the mixture will decrease and will be $Q_r^i = 22252$ kJ, it will be expedient to shift the operating point of the engine to point L_1 ($N_e = 75570$ kW). Further, the calculation showed that in order to obtain the maximum effective power, it is necessary to change the following parameters to values: the degree of pressure increase $\pi_k = 3.96$ and the excess air factor $\alpha = 2.51$. In this case, the specific fuel consumption was $g_e = 0.301$ g/(kW·h), the

stoichiometric coefficient $L_0 = 6.48$, the effective power was $N_e = 55200$ kW, which is 73% of the power at point L_1 . The authors of [7], using the example of a four-stroke high-speed engine, experimentally proved that the optimal operation of an ammonia engine, in terms of efficiency and environmental friendliness, is 60% of the nominal value. Thus, the result obtained (73%) is a fairly acceptable value if we take into account the fact that the combustion process time in a two-stroke long-stroke engine is much longer, that is, for calculations in the first approximation, this technique can be considered as a working one.

Based on the obtained parameters, the heat balance diagram of the 11G95ME-C9.5 engine operating on diesel fuel for the base power $N_e = 66650$ kW (Fig. 1, a) was constructed, the second diagram (Fig. 1, b) illustrates the operation of the 11G95ME-C9.5 engine on a mixture of ammonia (95%) and diesel fuel (5%) and corresponds to the power $N_e = 55200$ kW at the operating point L_1 .

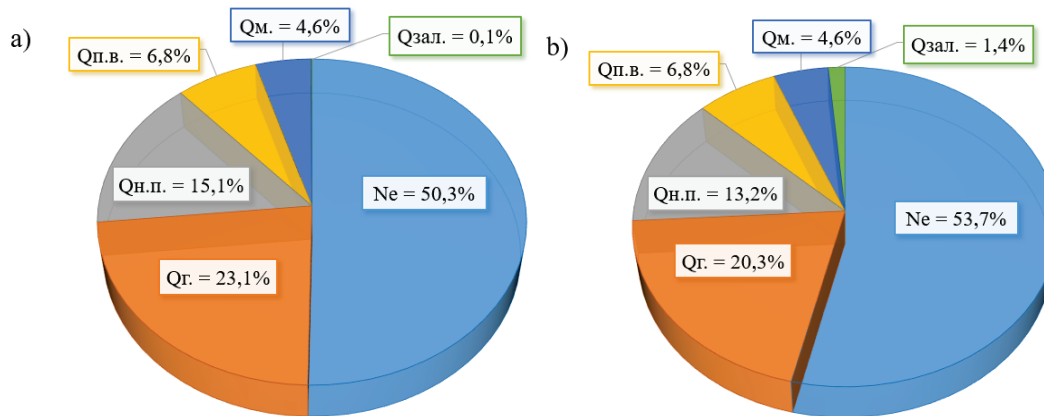


Figure 1 – Diagrams of the heat balance of the 11G95ME-C9.5 engine: a) at the operating point for $N_e = 66650$ kW, $n = 80$ rpm; b) at the operating point L_1

The previous calculation showed that even at the operating point L_1 we do not reach the base power, therefore there will be losses in the vessel's specific speed. Based on this, it is advisable to consider the option of installing an engine with a large number of cylinders. This option is useful for ships that will be designed and built to use ammonia as the main fuel.

Let's calculate the 12G95ME-C9.5 engine ($N_e = 82440$ kW) taking into account the parameters of the operating cycle obtained in the previous calculations. The obtained effective power ($N_e = 60200$ kW) was 90.3% of the power of the main engine of the base version. On the one hand, this result will affect the decrease in the speed of the vessel, on the other hand, this corresponds to the trend of recent years to reduce the speed of the container ships due to environmental and economic reasons.

Carry out a further calculation of the required amount of heat for carrying out the process of regasification and heating ammonia to the operating parameters for the two considered options. For engine operation 11G95ME-C9.5 it is necessary to regasify 6 kg/s of ammonia, for 12G95ME-C9.5 – 6.55 kg/s. To do this, it is necessary to take into account the specific heat of vaporization $c_p^v =$

1373 kJ/kg and the specific heat of ammonia $c_p = 2.175$ kJ/(kg·°C), which is heated from -33°C to 25°C.

Build diagrams of the amount of heat required for the regasification of ammonia, depending on the engine load. The heat of the engine cooling circuit and the heat of the charge air cooling circuit can be considered as a potential heat source; for this, the dependences of the amount of heat of the cooling circuits on engine loads were added to the graphs. The calculation results are shown in Fig. 2.

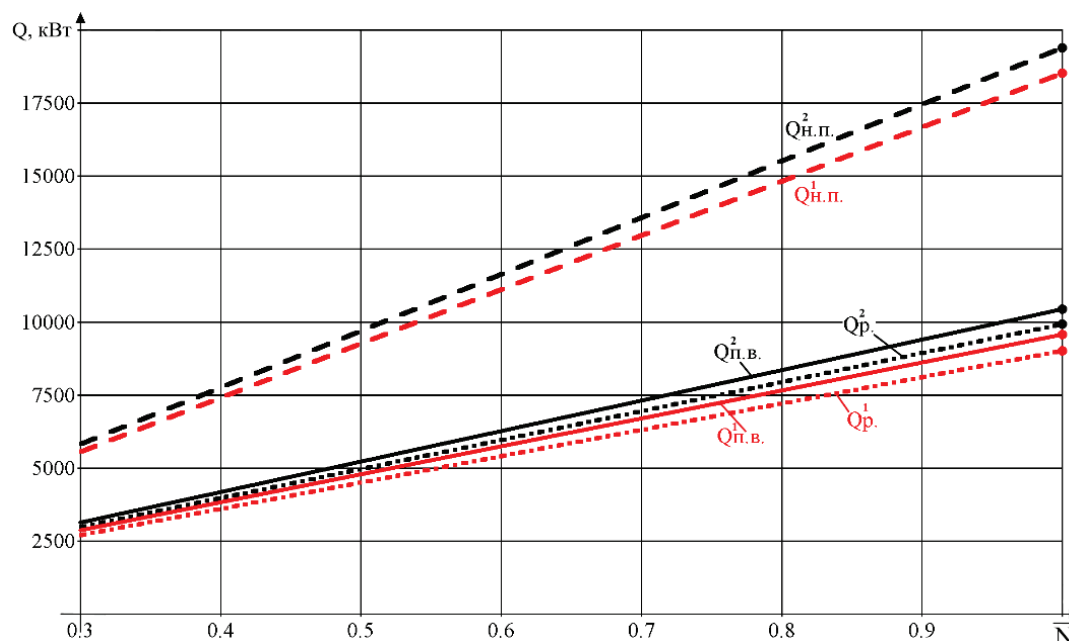


Figure 2 – Comparative analysis of the amount of heat required for the regasification of ammonia used as the main fuel

From the calculations, we can conclude that when switching from diesel fuel to ammonia, the heat balance of the engine will change — for the example of the 11G95ME-C9.5 engine, losses with charge air changed by 12.6% and with gases by 12.1%. Also, the process of fuel preparation of ammonia includes the release of a large amount of low-temperature SER, which is 6.4% of the heat balance for the engine under consideration. It follows from this that for the transition to the use of ammonia as the main fuel, it is necessary to revise the thermal schemes of the SPP, namely, the redistribution of secondary energy resources to ensure the fuel preparation process. Also, such a number of low-temperature SER is of great interest from the point of view of their utilization.

Also, due to a decrease in the effective engine power, it is necessary to rebuild the operation of an existing engine to a different operating point, or to consider a more powerful engine at the vessel's design stage, which will allow the vessel to provide the required specification speed.

References:

1. Enge, M. E. F., & Lunde, A. E. (2021). Ammonia as fuel in maritime energy systems (Bachelor's thesis, Høgskulen på Vestlandet).

2. <https://www.wartsila.com/media/news/14-07-2021-wartsila-launches-major-test-programme-towards-carbon-free-solutions-with-hydrogen-and-ammonia-2953362>.
3. Stenersen, D., & Thonstad, O. (2017). GHG and NO_x emissions from gas fuelled engines. Mapping, verification, reduction technologies, SINTEF Ocean AS, Trondheim, Norway.
4. Elvers, B. (1991). Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (p. 36). Verlag Chemie.
5. Буманченко Б.В., Аналіз передумов розробки схеми утилізації низькотемпературних вер суднових систем регазифікації аміаку термоакустичними тепловими машинами. В кн.: Сучасний стан та проблеми двигунобудування, Миколаїв, 2020: матеріали. Миколаїв: НУК, 2020. С. 120–123.
6. Lhuillier, C., Brequigny, P., Contino, F., & Mounaïm-Rousselle, C. (2020). Experimental study on ammonia/hydrogen/air combustion in spark ignition engine conditions. Fuel, 269, 117448.
7. Reiter, A. J., & Kong, S. C. (2011). Combustion and emissions characteristics of compression-ignition engine using dual ammonia-diesel fuel. Fuel, 90(1), 87-97.

ОЦІНКА ЗМІНИ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ ГД КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ POST-TRIPLE E-CLASS ПРИ ПЕРЕХОДІ НА АМІАК В ЯКОСТІ ОСНОВНОГО ВИДУ ПАЛИВА

Трофименко Дмитро Сергійович
студент

Національного університета імені Адмірала Макарова

Науковий керівник: Московко Олексій Олексійович

асистент

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна

Анотація. У даній роботі оцінений тепловий баланс ГД при переході на аміак. В роботі проведено розрахунок методом Гриневецького-Мазінга робочого циклу двигуна для визначення його основних параметрів. Розглянуто два варіанти переходу судна на використання аміаку в якості основного типу палива: для вже побудованих судів і для нових проектів. Проведено порівняння теплових балансів найбільш перспективних двигунів для контейнеровозів Post-Triple E-Class.

Ключові слова: аміак, СЕУ, Гриневецького-Мазінга, тепловий баланс.

УДК 629.123

СУДНОВІ ПРОПУЛЬСИВНІ УСТАНОВКИ З ГОЛОВНИМ ПОРШНЕВИМ ДВИГУНОМ І УТИЛІЗАЦІЙНОЮ ПАРОВОЮ АБО ГАЗОВОЮ ТУРБІНОЮ

Шостак В.П.

*кандидат технічних наук, професор кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

shostakvolodymyr7@gmail.com

Личко Б.М.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

bogdan.lychko@gmail.com

Манзюк А.Ю.

інженер

м. Миколаїв, Україна

anton.manziuk@gmail.com

Анотація. Аналізується механіка комбінованої рухової установки для сучасних транспортних суден з глибокою утилізацією вторинних енергоресурсів. У якості утилізаційних агрегатів, в яких виробляється механічна енергія, виступають силова газова та парова турбіни. Вони передають енергію на валопровід через редуктор з еластичними демпфіруючими муфтами.

Ключові слова: пропульсивна установка, малообертовий двигун, утилізаційна турбіна, редуктор, планетарна передача, демпфіруюча муфта.

Сучасні транспортні судна значної водотоннажності, наприклад контейнеровози типу Emma Maersk, Marko Polo, McKinny, мають значну швидкість (біля 20 вуз) і потужність головного двигуна понад 50 МВт. Відповідно, в навколишнє середовище відводиться значна кількість низькопотенційної теплоти – з відхідними газами (~ 250 °C) в атмосферу і від наддувного повітря (~ 200 °C) з охолоджувальною водою низькотемпературного контуру в забортну воду. Використання такої теплоти, тобто утилізація вторинних енергоресурсів, – це реальний шлях до зниження витрат палива (близько 10 %) та поліпшення екологічності пропульсивної установки.

У цьому випадку, крім головного двигуна, виробниками механічної енергії являються парова і/або газова турбіни. Найбільш глибока утилізація вторинних енергоресурсів з максимальною енергоефективністю буде забезпечена при передачі цієї енергії безпосередньо на судновий валопровід і, далі, на гребний гвинт. Зазначимо, що привабливе застосування електричної передачі з подвійним перетворенням енергії – механічну в електричну, а потім електричну в механічну – супроводжується втратами 13...16 % і більше.

Застосування лише силової утилізаційної турбіни не забезпечує глибоку утилізацію вторинних енергоресурсів, проте здійснюється найпростішим способом. Утилізаційна парова турбіна обумовлює наявність утилізаційного котла значних габаритів та системи «пар-конденсат», які є достатньо громіздкими, але добре освоєними. При цьому виникає проблема роботоздатності та надійності редукторів, які поєднують поршневий двигун (частота обертання $\sim 100 \text{ хв}^{-1}$), з газовою ($\sim 15000 \text{ хв}^{-1}$) та паровою ($\sim 7000 \text{ хв}^{-1}$) турбінами.

На рисунку зображені принципові схеми пропульсивних установок з головним поршневим двигуном і утилізаційною паровою (I, III) або газовою (II) турбіною.

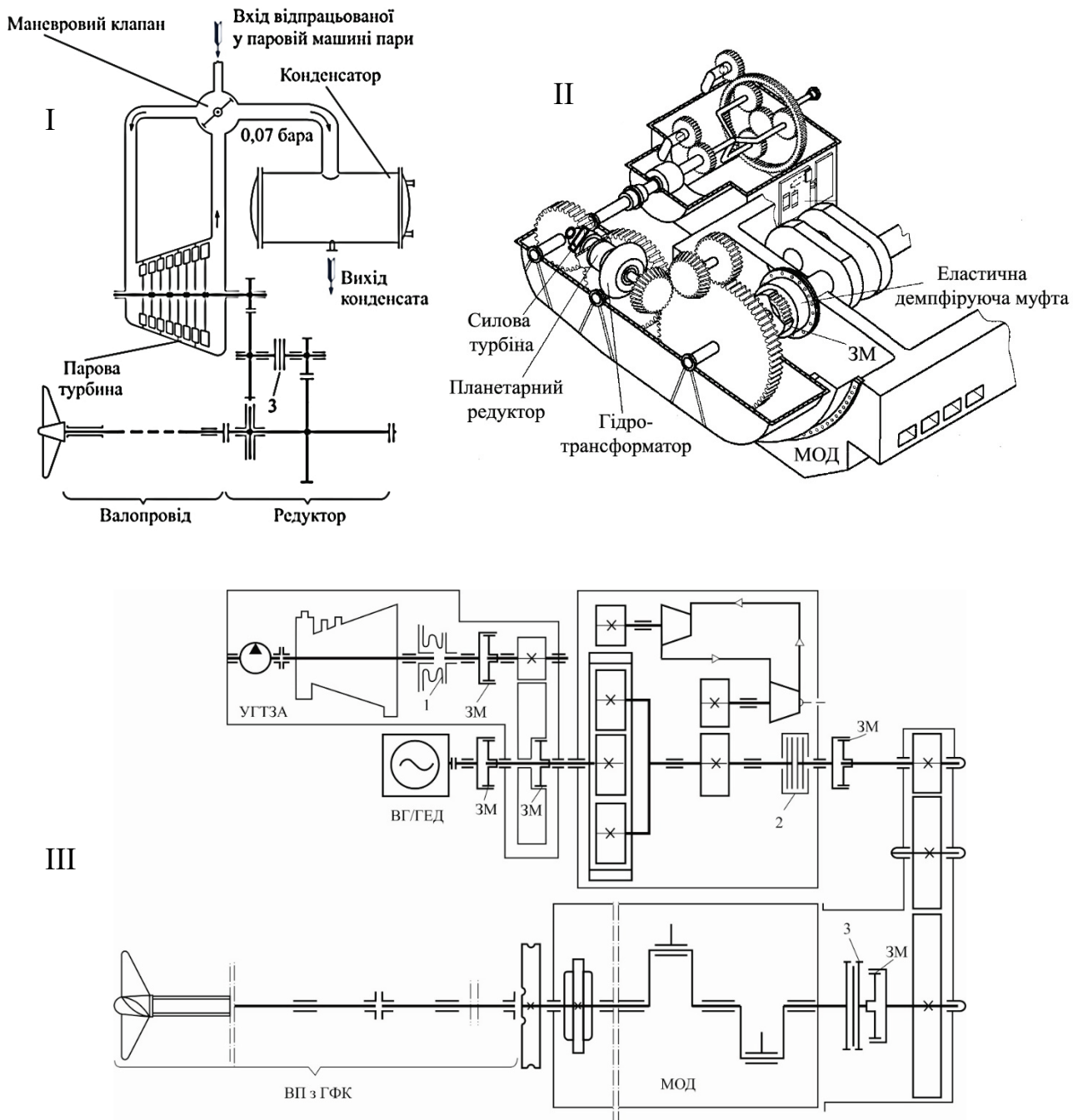


Схема I, з триступеневою поршневою машиною, застосовувалась на рубежі XIX – XX століття, обов'язковим елементом якої була еластична демпфіруюча муфта 3. Наприкінці

минулого століття компанію МАН-дизель-турбо представила схему II, в якій використовується валогенератор з планетарним редуктором компанії Renk, до якого підключена силова газова турбіна. У якості демпфіруючого елемента застосовується еластична муфта. Нами розроблена схема III, яка поєднує малообертовий двигун МОД, зубчасту передачу, планетарний редуктор/мультиплікатор, утилізаційний гребний турбозубчастий агрегат УГТЗА та валогенератор/гребний електродвигун ВГ/ГЕД. Для роботоздатності, надійності та можливості різних режимів роботи використовується напівгнучка муфта 1, зубчасті муфти 3М та дискові демпфіруючі муфти 2 і 3. Уся механічна енергія передається на валопровід з гвинтом фіксованого кроку ВП з ГФК.

Висновок

На даний час забезпечення надійної сумісної роботи турбін з поршневыми малообертовими двигунами на судах може базуватися на досвіді використання валогенераторів, освоєних редукторів, планетарних передач, різноманітних демпфіруючих та зубчастих муфт.

SHIP PROPULSION PLANTS WITH THE MAIN PISTON ENGINE AND RECYCLING STEAM OR GAS TURBINE

Volodymyr P. Shostak, Bohdan M. Lychko, Anton U. Manziuk

Volodymyr P. Shostak.

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department

operation of ship power plants and heat power

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Bohdan M. Lychko.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

operation of ship power plants and heat power

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

Anton U. Manziuk.

Engineer

Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The mechanics of the combined propulsion system for modern transport vessels with deep utilization of secondary energy resources is analyzed. Power gas and steam turbines are used as utilization units in which mechanical energy is produced. They transfer energy to the shaft line through a gearbox with elastic damping couplings.

Key words: propulsion installation, low-speed engine, utilization turbine, reducer, planetary gear, damping clutch.

УДК 502.1/2:656.6

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ ПРИ СУШІННІ І ТЕРМІЧНОМУ РОЗКЛАДАННІ ЧАСТИНОК ВІДХОДІВ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

mukola.semenov@nuos.edu.ua

Шаповалов Ю.О.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

yuriy_shapovalov_2011@ukr.net

Анотація. Розглянуто проблему утилізації відходів. Запропоновано математичну модель теплопереносу з фазовим переходом і хімічною реакцією термічного розкладання при радіаційно-конвективному нагріванні частинки твердих відходів на водному транспорті. Встановлено масштаби впливу температури димових газів на характеристики випаровування.

Ключові слова. Чисельне модулювання, тверді відходи, сушка, термічне розкладання.

Дослідження, пов'язані з розробкою методів і засобів утилізації твердих відходів виробничої та побутової діяльності в суднових умовах, є в даний час актуальними, особливо для прибережних регіонів, де екологічні обставини в плані забруднення знаходиться в передкризовому стані. [1]

Одним з перспективних способів утилізації суднових відходів є їх сушіння та термічне розкладання. Для реалізації утилізації твердих відходів за допомогою сушіння та термічного розкладання в суднових умовах необхідні теоретичні і експериментальні дослідження, що забезпечують створення пристроїв і технологій отримання палива із заданими фізико-технічними параметрами, що не впливають негативно на процес горіння.

Моделювання горіння частки відходів описано в роботі [2]. Частка відходів, потрапляючи в потік газу з високою температурою, швидко підсихає у поверхні, і як наслідок всередині частинки утворюються такі зони: а) прогріву частки відходів до температури кипіння води на поверхні; б) випаровування води, межа якої визначається ізотермами початку і кінця кипіння води; в) термічного розкладання вуглецю і початку реакції вуглецю з водяними парами; г) горіння вуглецю і розкладання водяної пари; д) згоряння продуктів реакції окислення вуглецю.

Але запропонована математична [2] модель не була реалізована повністю.

Тому запропоновано часткове рішення, яке зводився до розгляду двох стадій горіння частки відходів: а) випаровування вологи при температурі нижче температури займання; б) горіння частки відходів при постійній температурі на поверхні. Проведені дослідження показали, що процес горіння частки відходів розміром 0.2-0.4 мм проходить через обидві стадії, але друга стадія є визначальною по часу всього процесу. Під впливом високотемпературного потоку, що підводиться до поверхні частинки відходів, відбувається випаровування вологи і термічний розклад підсушеної частини відходів. В рамках даної математичної моделі були прийняті наступні припущення: теплофізичні властивості відходів постійні; перенесення тепла всередині частинки одномірні; тепло підводиться конвекцією і випромінюванням; реакція води з вуглецем не враховується.

Система нестационарних диференціальних рівнянь при $0 < t < t_c$

Включає

- рівняння енергії для сухої частини

$$\frac{\partial T_1(r,t)}{\partial t} = a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \right] + (1 - \eta(r,t)) \frac{Q_{xim} \cdot k_e}{C_{p1}} \cdot \exp \left(- \frac{E}{R \cdot T_1(r,t)} \right) \quad (1);$$

$$t > 0 \quad r_B < r < r_1 \quad T > T_B$$

де r_B – просторова координата кордону випаровування, м.

- рівняння хімічної кінетики для вуглецевої компоненти відходів

$$\frac{\partial \eta(r,t)}{\partial t} = (1 - \eta(r,t)) \frac{Q_{xim} \cdot k_e}{C_{p1}} \cdot \exp \left(- \frac{E}{R \cdot T_1(r,t)} \right) \quad (2);$$

- рівняння енергії для вихідної частини відходів

$$\frac{\partial T_2(r,t)}{\partial t} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} \right] \quad (3);$$

$$t > 0 \quad r_0 < r < r_B \quad T > T_B$$

з початковими: $(T(r,0) = T_0)$; і граничними умовами:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_2(r_0,t)}{\partial r} = a_2 [T_c - T_1(r_0,t)] + [T_c^4 - T_1^4(r_0,t)] \quad (4);$$

- граничні умови четвертого роду на границі випаровування:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(r,t)}{\partial r} \Big|_{r=r_B+0} - \lambda_2 \frac{\partial T_2(r,t)}{\partial r} = Q_{sun} \cdot W_{sun} \quad (5);$$

$$T_1(r_B,t) = T_2(r_B,t) = T_B$$

- умова симетрії

$$\frac{\partial T_1(r, t)}{\partial r} = 0 \quad (6)$$

де, 1- зона сухої частини відходів, 2 – зона вихідних відходів, T_0 – початкова температура частинки, К; T_c – температура димових газів, К; σ – константа випромінювання абсолютно чорного тіла $5,67 \frac{Вт}{м^2 К^2}$; α – коефіцієнт конвективного тепловіддачі $\frac{Вт}{м^2 К^2}$; a_1 – коефіцієнт температуропровідності вихідної частини відходів, $\frac{м^2}{с}$; a_2 – коефіцієнт температуропровідності сухої частини, $\frac{м^2}{с}$; λ_1 – коефіцієнт теплопровідності вихідної частини відходів, $\frac{Вт}{м К}$; λ_2 – коефіцієнт теплопровідності сухої частини відходів, $\frac{Вт}{м К}$; $W_{вин}$ – масова швидкість випаровування, $\frac{кг}{м^2 с}$; $Q_{вин}$ парниковий ефект випаровування Вт / кг, k_0 – предекспонент хімічної реакції термічного розкладання 1/с, $Q_{хім}$ – тепловий ефект реакції термічного розкладання, е – ступінь чорноти частинки відходів.

Поглинання, що підводиться до частинки, енергії враховувалося за рахунок введення в граничну умову (4) добуток $Q_{вин} \cdot W_{вин}$ і за рахунок ендотермічної реакції розкладання сухої частини відходів. Координата границі випаровування перебувала з рішення системи рівнянь (1) – (6) за формулою:

$$\xi = L - \int v_p \cdot dr.$$

$$\text{Де: } v_p = \frac{W_{вин}}{\rho_p};$$

Швидкість випаровування перебувала за формулою (5):

$$W_{вин} = V_0 \cdot \exp\left(\frac{Q_{вин} \cdot \mu \cdot (T_1 - T_0)}{R \cdot T_0 \cdot T_1}\right).$$

де: T_1 – Температура на кордоні випаровування; T_0 – Температура замерзання; V_0 – Швидкість випаровування при температурі замерзання; μ – Молярна маса водяної пари; R – Універсальна газова стала.

З метою узагальненого дослідження систему (1-6) приведемо до безрозмірного вигляду, для чого вибрано для змінних параметрів завдання масштаби, які фігурують в умовах однозначності.

В результаті такого перетворення рівняння приймуть вид:

$$\frac{1}{Fo_1} \frac{\partial \Theta_1(R, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_1(R, \tau)}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta_1(R, \tau)}{\partial R} + (1 - \eta(R, \tau)) \cdot Pa_a(\tau) \quad (1')$$

$$R_B(Fo) < R < 1, \Theta > 1, Fo > 1$$

$$\frac{1}{Fo_2} \frac{\partial \Theta_2(R, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2(R, \tau)}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Theta_2(R, \tau)}{\partial R} \quad (2')$$

$$0 < R < R_B(Fo), \Theta < 1, Fo > 1$$

$$\frac{\partial \Theta_2(0, Fo)}{\partial R} = 0 \quad (3')$$

$$\frac{\partial \Theta_1(1, Fo)}{\partial R} = Bi_1 \cdot [\Theta_c - \Theta_1(1, Fo)] + Sk \cdot [\Theta_c^4 - \Theta_1^4(1, Fo)] \quad (4')$$

$$\frac{\partial \Theta_1(R_e, Fo)}{\partial R} - K_2 \frac{\partial \Theta_2(R_e, Fo)}{\partial R} = Ki(\tau) \quad (5')$$

$$\Theta_1(R_e, Fo) = \Theta_2(R_e, Fo) \quad (5'')$$

$$K_\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}; Fo = \frac{\alpha t}{L^2}; \Theta = \frac{T}{T_c}; Ki = \frac{Q_{\text{вун}} \cdot W_{\text{вун}}(\tau) \cdot L}{\lambda_1 T_c}; Sk = \frac{\sigma \cdot T_c^3 \cdot L}{\lambda_1}; R = \frac{R_1}{L}; L = R_1 - R_2,$$

$$Po(\tau) = \frac{Q_{\text{xim}} \cdot k_0}{C_p};$$

де, K_λ – безрозмірний комплекс, що характеризує зміну перехід через границю випаровування; Po – критерій Фур'є; Θ – безрозмірна температура; $Ki(\tau)$ – критерій Кірпечева; Sk – критерій Старка; Bi – критерій Біо; $Pom(\tau)$ – критерій Померанцева; R – безрозмірний радіус частинки; L – характерний розмір. Для визначення критерію Фур'є в якості масштабу часу бралось передбачуваний час повної сушки частка відходів. (2)

При чисельному моделюванні процесу сушіння досліджувався вплив зовнішніх чинників, таких як температура димових газів і інтенсивність теплообміну на швидкість сушіння частинки відходів. Температура газів варіювалася в досить широкому діапазоні ($T_c = 900 \div 1500 K$). Збільшення температури димових газів призводить до зменшення часу повного висихання частки відходів. Отже, існує наступна особливість: кожне наступне збільшення температури призводить до меншого ефекту приросту швидкості сушіння. Наприклад, збільшення температури димових газів T_c з $900^\circ K$ до $1000^\circ K$ дає приріст швидкості сушки на 15%, а при подальшому збільшенні температури димових газів приріст

швидкості сушіння зменшується. Так при зміні температури з 1100 ° К до 1200 ° К швидкість сушіння збільшується тільки на 13%.

Висновки

В результаті моделювання сушіння і термічного розкладання частки відходів були виділені характерні особливості за часом сушіння в залежності від зовнішньої температури і інтенсивності теплообміну. Встановлено нелінійний характер таких зв'язків. Використана комплексна модель випаровування і термічного розкладання вугільної компоненти в умовах радіаційно-конвективного теплообміну. Отримані результати можуть бути використані при обґрунтуванні конструктивних і режимних параметрів топкових пристроїв на судах.

Література.

1. Семенов М.М. Дослідження процесів сушки відходів на водному транспорті [Текст]/Гавриш В.І., Шаповалов Ю.О., Семенов М.М., Агапов Д.П./ Суднова енергетика: стан та проблеми: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : НУК, 2019. – С. 264–267.
2. Huang Z. et all. Theoretical analysis on CWM drop combustion history // Proc. 8-th Intern. Symp. Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization. USA, Orlando. Part 1. 1986. p.343-358.

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT TRANSFER DURING DRYING AND THERMAL DECOMPOSITION OF WASTE PARTICLES BY WATER TRANSPORT

Semenov Mykola, Shapovalov Yuriy.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Annotation. The problem of waste disposal is considered. A mathematical model of heat transfer with a phase transition and a chemical reaction of thermal decomposition during radiation-convective heating of a solid waste particle on water transport is proposed. The scale of the influence of the flue gas temperature on the evaporation characteristics has been established.

Key words. Numerical modeling, solid waste, drying, thermal decomposition.

УДК 661.961

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПРОБУВАННЯ ЛОПАТОК ГТД МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННОЇ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

Ткач М.Р., *д-р техн. наук*,¹ Галинкін Ю.М. *канд. техн. наук*², Ключник В.С. *аспірант*³,
Золотой Ю.Г. *зав. лабораторією*⁴,
^{1,2,3,4} *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*
Україна, Миколаїв
mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua¹ yurii.galynkin@nuos.edu.ua,²
kluchnyk67@gmail.com,³ goldspekl@ukr.net⁴

Анотація. Удосконалено технологію випробування лопаток ГТД шляхом зміни граничних умов її закріплення. Проведено експериментальне випробування по визначенню частоти власних коливань та форм коливань, а також механічні властивості матеріалу лопатки. Розроблену уточнену математичну модель досліджуваного об'єкту – лопатки сучасного ГТД. Отримано частоти та форми коливань уточненої математичної моделі, порівняно з результатами експериментальних досліджень, мінімальне середньоквадратичне відхилення становить 0,73%

Ключові слова: лопатки газотурбінного двигуна, спекл-інтерферометрія, власна частота коливань, форма коливань.

При створенні сучасних суднових і стаціонарних газотурбінних двигунів метод електронної спекл-інтерферометрії використовується для визначення частот власних коливань лопаток турбін та компресорів, визначення їх форм та дислокацій вузлових ліній. При проведенні таких досліджень використовувалась, як правило, консольна фіксація лопатки з зовнішнім збудженням, як найбільш відповідача умовам роботи у двигуні. При цьому спостерігалась деяка розбіжність результатів випробувань для партії виробів одного типорозміру, причому слід зауважити, що для кожного типорозміру відхилення частот власних коливань складало свій діапазон.

При проведенні аналізу виникнення розбіжності частот власних коливань було визначено три можливі причини: відхилення геометричної форми виробу, недостатньо якісна фіксація, відхилення механічних властивостей виробу, викликане неізотропністю матеріалу. Для запобігання впливу зазначених факторів на результати дослідження, запропоновано виконувати уточнення механічних властивостей матеріалу виробів методом електронної спекл-інтерферометрії [1, 2, 3]. Для цього досліджуваний об'єкт розміщується на експериментальному стенді так, щоб зовнішні механічні в'язи не впливали на умови закріплення, після чого визначається спектр коливань (частоти коливань та відповідні їм форми) та порівнюється з уточненою математичною моделлю. При цьому, механічні властивості математичної моделі задаються з умов найменших значень

середньоквадратичного відхилення спектру власних коливань у досліджуваному діапазоні частот.

Визначення спектру коливань проводиться на експериментальному стенді, який містить у своєму складі інтерферометр з дифузійною опорною хвилею і роздільними каналами розповсюдження опорного і предметного пучків (рис. 1) [4]. Промінь джерела коректного освітлення (лазера) 1 розширюється мікροоб'єктивом 2 і ділиться світлорозділювачем 3 на той що проникний та відзеркалений. Проникний пучок проходить крізь світлорозділювач та освітлює поверхню лопатки 4, дифузно відбивається від її поверхні, утворюючи предметну хвилю.

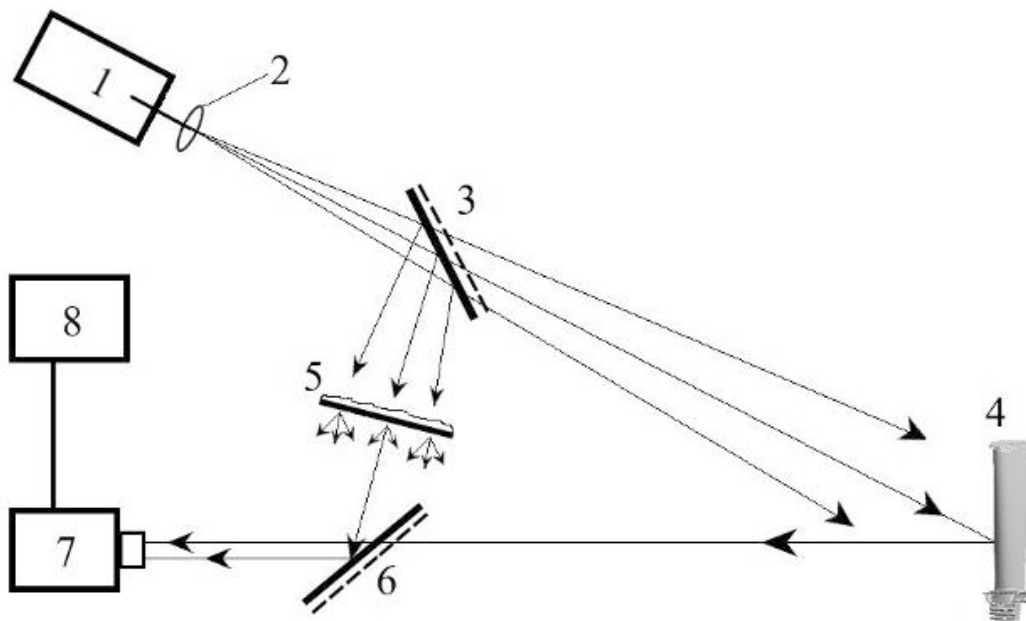


Рисунок 1. Оптична схема стенду:

- 1 – лазер; 2 – об'єктив; 3 – світлорозділювач; 4 – об'єкт дослідження (лопатка);
6 – поєднуючий світлорозділювач; 5 – пропускаючий дифузор; 7 – відеокамера;
8 – персональний комп'ютер

Світловий пучок, віддзеркалений світлорозділювачем 3, розсіюється пропускаючим дифузором 5 і створює дифузну опорну хвилю. Накладаючись у поєднуючому світлорозділювачі 6 і об'єктиві відеокамери 7, предметний і опорний пучки формують на світлочутливій ПЗС матриці, результуюче спекл-поле – спеклограму. При резонансній вібрації лопатки, в ній зашифрована інтерферограма колекційної форми, яка декодується на комп'ютері 8, методом визначення динамічної картини спеклів [4]. Детальний опис схеми установки, а також методів отримання та алгоритмів обробки голограм дані в [4, 5].

Результатом дослідження є ряд форм власних коливань лопатки газотурбінного двигуна, що порівнювався з результатами моделювання створеної її геометричної моделі на базі 3D сканування (сканер Solutionix Rexscan CS2 +) з точністю сканування 0,01 мм.

З метою визначення дійсних значень властивостей матеріалу лопатки, проведена серія розрахунків резонансних частот лопатки в діапазоні зміни значень механічних властивостей модуля Юнга $E = 200...230$ ГПа і коефіцієнта Пуассона $\mu = 0,26...0,3$. Значення щільності матеріалу, використане в розрахунку – $\rho = 7830$ кг/м³. Методом двовірної сплайн-інтерполяції, визначена залежність середньоквадратичного відхилення розрахункових даних δ від прийнятих механічних властивостей матеріалу лопатки, табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння частот власних коливань лопатки

№ форми	1	2	3	4	5	6	7	Середньо-квадратичне відхилення
Експериментально отримані	530	750	1191	1800	1949	2352	2649	0,728
Теоретичний розрахунок	531,52	754,11	1188	1801	1943,4	2365,5	2614,1	

При цьому, мінімальне середнє відхилення розрахункових частот від їх експериментального значення – 0,73% забезпечується в діапазоні значень механічних властивостей $E = 215...217$ ГПа і $\mu = 0,295...0,3$. Разом з тим, величина середнього квадратичного відхилення частот 1%, забезпечується в діапазоні значень механічних властивостей матеріалу лопатки $E = 211...220$ ГПа і $\mu = 0,26 ... 0,3$.

Механічні властивості, отримані експериментально, враховуються при моделюванні власних коливань уточненої математичної моделі досліджуваної лопатки. Слід додати, що суттєвими перевагами математичного моделювання у сучасних системах, наприклад солід та ансис, є можливість моделювання в різних умовах закріплення, при роботі на різних температурних режимах, моделювання у більш широкому діапазоні частот (порівняно з експериментальним). При цьому математична модель обов'язково повинна бути верифікована з експериментальними дослідженнями. Як уже згадувалося раніше, верифікацію виконано при розміщенні досліджуваного об'єкту в умовах, що відповідають свободним умовам закріплення (без впливу зовнішніх вязів), оскільки це найбільш достовірний спосіб закріплення

Висновки

Таким чином, на прикладі лопатки газотурбінного двигуна продемонстровано, що удосконалення технології дослідження лопаток ГТД проведено за рахунок зміни закріплення досліджуваного об'єкта на експериментальному стенді, що дозволяє уточнити механічні властивості об'єкта дослідження, і, як наслідок, уточнити теоретичну модель лопатки. Також удосконалена технологія передбачає уточнення геометричних розмірів теоретичної моделі досліджуваного об'єкта шляхом проведення його трьохвимірному сканування для адаптації теоретичного креслення до реально існуючих розмірів. Виконаний комплекс заходів дозволяє отримати теоретичну модель підвищеної точності, що дозволить коректно моделювати роботу лопатки ГТД у різних умовах закріплення.

Література:

1. Пат. UA 103068 Україна. Спосіб визначення частот і форм резонансних коливань лопаток ГТД методом спекл-інтерферометрії [Текст] / Ткач М. Р., Золотой Ю. Г., Довгань Д. В., Жук И. Ю. – № 103068; опубл. 10.12.2015.
2. Еленевский, Д. С. Лазерно-компьютерная система анализа спекл-интерферограмм вибриру-ющих объектов [Текст] / Д. С. Еленевский, Ю. Н. Шапошников. – М. : Известия Самарского научного центра РАН. – 1999. – № 1. – С. 134–136.
3. Жужукин, А.И. (2017) Применение спекл-интерферометрии для исследования колебаний крупногабаритных конструкций газотурбинных двигателей [Текст]. Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение», №3 С. 66-74.
4. Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex [Text] / Tkach M. [et al.] // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. – vol 188, pp. 277-289. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23.
5. Комаров, Ю. С. Помехоустойчивый цифровой спекл – интерферометр для виброметрии объектов на основе метода усреднения во времени [Текст] : дис. ... канд.тех. наук / Ю. С. Комаров. – Самара, 2004. – 234 с.

REFERENCES

1. Tkach, M. R., Zolotiy, Yu. G., Dovgan, D. V., Guk, I. Yu. Sposib vy`znachennya chastot i form re-zonansny`x koly`van` lopatok GTD metodom spekl-interferometriyi [Method of determining of forms of resonant vibrations shapes of blades of gas turbine engine by speckle interferogram]. Patent UA, №103068. 2015.
2. Elenevskij, D. S., Shaposhnikov, Ju. N. Lazerno-komp'juternaja sistema analiza spekl-interferogramm vibrirujushhih obektov [Laser-computer system for analyzing speckle

interferograms of vibrating objects]. Moscow, Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 1999, no. 1, pp. 134–136.

3. Zhuzhukin, A.I. (2017) *Primenenie spekl-interferometrii dlya issledovaniya kolebaniy krupnogabaritnykh konstruktsiy gazoturbinnnykh dvigatelej* [Tekst]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya «Mashinostroenie», №3 S. 66-74.

4. Tkach M. et al. Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex. In: Nechiporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, vol 188, pp. 277-289. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23.

5. Komarov, Ju. S. *Pomehoustojchivyy cifrovoy spekl-interferometr dlja vibrometrii obektov na osnove metoda usredneniya po vremeni*. Diss. k. t. n. [Noise-resistant digital speckle-interferometer for vibrometry of objects on the basis of the method of averaging in time PhD diss.]. Samara, 2004. 234 p.

IMPROVEMENT OF GTE BLADE TEST TECHNOLOGY BY ELECTRONIC SPECKLE INTERFEROMETRY

Tkach M.R., Halynkin Yu. M., Kluchnik V.S., Zolotoy Yu. H.

Abstract. The technology of testing gas turbine blades has been improved by changing the boundary conditions for its fixation. An experimental test was performed to determine the frequency of natural oscillations and forms of oscillations, as well as the mechanical properties of the blade material. A refined mathematical model of the object under study – the blades of a modern gas turbine engine – has been developed. Frequencies and forms of oscillations of the specified mathematical model are received, in comparison with results of experimental researches, the minimum standard deviation makes 0,73%

Key words: gas turbine engine blades, speckle interferometry, natural frequency of oscillations, form of oscillations.

УДК 620.179.18

УЛУЧШЕНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОК ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Ключник В.С., аспирант¹; Ткач М.Р., д-р техн. наук, проф.²; Золотой Ю.Г., зав. лаб.³;
Галынкин Ю.Н., канд. техн. наук⁴; Проскурин А.Ю., канд. техн. наук, доц.⁵;
^{1,2,3,4,5} Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова Украина,
Николаев

vladimir.kluchnyk@gmail.com¹; mykhaylo.tkach@nuos.edu.ua²; goldspekl@ukr.net³;
yurii.galynkin@nuos.edu.ua⁴; arkadii.proskurin@nuos.edu.ua⁵

Аннотация. Показано улучшение качества спекл-интерферограмм форм колебаний лопаток турбин при помощи метода стробированного излучения. Для уменьшения влияния спекл-шума на разрешение интерферограмм предложен метод многокадрового усреднения N изображений идентичной картины полос с некоррелируемыми шумами.

Ключевые слова: спекл-интерферометрия, турбинные лопатки, формы колебаний, стробоскопия

При определении вибрационных параметров элементов газовых турбин кроме значений резонансных частот и форм колебаний часто предполагается получение числовой информации об амплитудах колебаний с малым периодом квантования исследуемой поверхности. Это важно при оценке распределения вибродеформаций, прогнозировании возникновения усталостных трещин, а также анализе причин аварийного разрушения. Корректно решить эту задачу при низком разрешении усреднённой спекл-интерферограммы сложно. В экспериментальном стенде, использованном для определения вибрационных характеристик лопатки [1, 2], с целью улучшения видности полос был применен известный в голографической виброметрии метод стробированного излучения [3]. После настройки резонансного режима вибрации, луч НЕ-НЕ лазера модулируется по амплитуде короткими прямоугольными импульсами регулируемой длительности Δt , синхронизированными с амплитудными моментами колебаний объекта. При $T \gg \Delta t$ за время τ объект многократно регистрируется на спеклограмме поочередно в 2-х амплитудных состояниях. Контраст усреднённой спекл-картины будет высоким только в тех точках поверхности, для которых в обоих положениях яркость спеклов совпадает. Если в соседних амплитудных положениях яркость спеклов имеет противоположные значения, то на спеклограмме она усреднится, а контраст станет минимальным. Тогда, для стробоинтерферограммы, полученной способом определения контраста спеклов, будет справедливо соотношение: $(U_0)_j = j \frac{\lambda}{4}$, где $j = 0, 1, 2, \dots$ – номер светлой полосы.

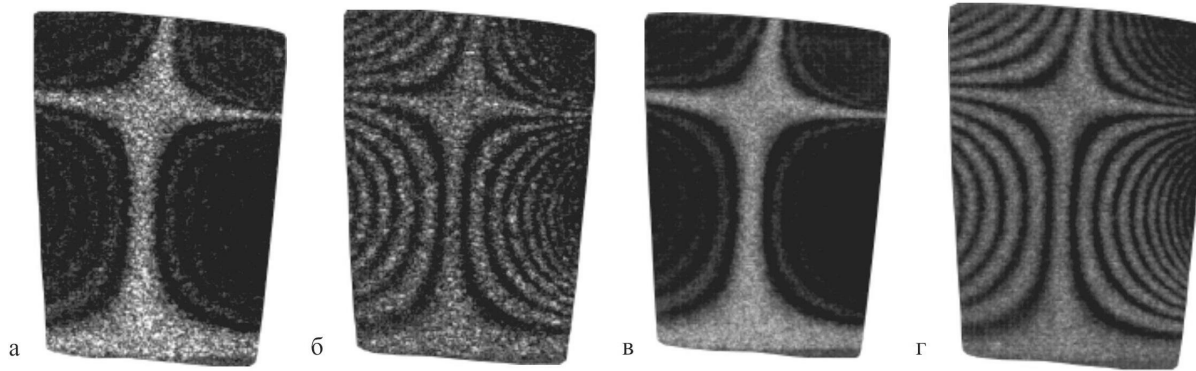


Рисунок 1. Интерферограммы колебаний лопатки компрессора (2-ая крутильная форма): а – усредненная по времени; б – стробоинтерферограмма; в – интерферограмма (а) с семикадровым усреднением; г – интерферограмма (б) с семикадровым усреднением.

Эти соображения в идеале справедливы при очень высокой скважности стробирования, когда перемещения точек пучностей за время импульса малы. Но расчёт [4] показывает, что уже при скважностях $7 \div 10$ можно исследовать колебания, амплитуды которых составляют десятки длин волн. Снижение яркости полос с увеличением амплитуды колебаний в этом случае незначительно. Пример стробоскопической спекл-интерферограммы, полученной при скважности стробирования 7, приведен на рис. 1б.

Модуляция излучения осуществляется электрооптическим модулятором, управляемым прямоугольными импульсами с регулируемой задержкой и длительностью. Временная задержка импульсов относительно фазы механических колебаний контролируется визуальной оценкой видности интерферограммы в реальном времени. Более подробно работа стробокомплекса описана в [5].

Получение цифровых спекл-интерферограмм с высоким разрешением (как усреднённых по времени, так и стробированных) осложняется также высоким уровнем спекл-шума. В работе [6] для уменьшения влияния шума предложен метод многокадрового усреднения N изображений идентичной картины полос с некоррелируемыми шумами. Случайные флуктуации спекл-шумов авторы предлагают получить небольшим плоским перемещением диффузора между регистрациями спеклограмм. В результате на усреднённой интерферограмме соотношение сигнал/шум возрастает в $\sqrt{N}$ раз. Но для перемещения диффузора требуется специальное устройство, исключаяющее движение в нормальном направлении.

В использованном экспериментальном стенде, многократное изменение опорного спекл-поля производится значительно проще, путём ступенчатого изменения малой деформации многомодового световода. Деформирование волокна приводит к изменению

фазовых соотношений между интерферирующими лучами на выходе световода. Соответственно, случайным образом изменяется модовый состав излучения и сформированная при этом картина опорных спеклов. Ступенчатое деформационное воздействие на световод реализуется при помощи шагового двигателя расположенного в нагружающем устройстве. Получение N интерферограмм с последующим их усреднением производится автоматически при окончательной регистрации колебательной формы. Результаты применения этой методики для усреднённой по времени и стробированной спекл-интерферограмм представлены на рис. 1в и рис. 1г соответственно.

Выводы

Показано улучшение качества спекл-интерферограмм форм колебаний лопаток турбин при помощи метода стробированного излучения. Для уменьшения влияния спекл-шума на разрешение интерферограмм предложен метод многокадрового усреднения N изображений идентичной картины полос с некоррелируемыми шумами.

Литература

1. Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex [Text] / Tkach M. [et al.] // *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering* – 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. – vol 188, pp. 277-289. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23.
2. Пат. UA 103068 Україна. Спосіб визначення частот і форм резонансних коливань лопаток ГТД методом спекл-інтерферометрії [Текст] / Ткач М. Р., Золотой Ю. Г., Довгань Д. В., Жук И. Ю. – № 103068; опубл. 10.12.2015.
3. Зайдель А.М., Малхасян Л.Г., Маркова Г.В., Островский Ю.И. (1968) Стробофотографический метод изучения вибраций. *Журнал технической физики*.
4. Ostrovskii, Iu. I. & Shchepinov, V. P. & Yakovlev, V. V. (1991). *Holographic interferometry in experimental mechanics*. Berlin ; New York : Springer-Verlag.
5. Ткач М. Р., Золотой Ю.Г., Довгань Д.В., Жук И.Ю. (2011) Определение динамических параметров элементов ГТД методом голографической интерферометрии в реальном времени. *Авиационно-космическая техника и технология*.
6. Жужукин А.И., Соляников В.А. (2009) Виброметрическая установка для получения спекл-интерферограмм с высоким разрешением. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*.

REFERENCES

1. Improving the Noise Immunity of the Measuring and Computing Coherent-Optical Vibrodiagnostic Complex [Text] / Tkach M. [et al.] // *Integrated Computer Technologies in*

Mechanical Engineering – 2020. ICTM 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021. – vol 188, pp. 277-289. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_23.

2. Tkach, M. R., Zolotiy, Yu. G., Dovgan, D. V., Guk, I. Yu. Sposib vy'znachennya chastot i form rezonansny'x koly'van' lopatok GTD metodom spekl-interferometriyi [Method of determining of forms of resonant vibrations shapes of blades of gas turbine engine by speckle interferogram]. Patent UA, №103068. 2015.

3. Zaidel A.M., Malhasian L.G., Markova G.V., Ostrovskiy Yu. I. (1968) Strobogholographic method for studying vibrations. *Technical Physics Journal*.

4. Ostrovskii, IU. I. & Shchepinov, V. P. & Yakovlev, V. V. (1991). *Holographic interferometry in experimental mechanics*. Berlin ; New York : Springer-Verlag.

6. Zhuzhukin, A. I., Soljannikov, V. A. Vibrometriceskaja ustanovka dlja poluchenija spekl- interferogramm s vysokim razresheniem [Vibrometric setup for obtaining high-resolution speckle interferograms]. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2009, pp. 210–213.

IMPROVEMENT OF THE DIGITAL SPECKL INTERFEROMETRY METHOD FOR DETERMINING THE VIBRATION CHARACTERISTICS OF GAS TURBINE BLADES

Kluchnyk V.S., Tkach M.R., Zolotoy Yu. H., Proskurin A.Yu., Halynkin Yu. M.

Abstract. An improvement in the quality of speckle interferograms of the vibration modes of turbine blades is shown using the gated radiation method. To reduce the influence of speckle noise on the resolution of interferograms, a method of multi-frame averaging of N images of an identical pattern of stripes with uncorrelated noise is proposed.

Key words: speckle interferometry, turbine blades, vibration modes, stroboscopy

ПОЛІПШЕННЯ МЕТОДУ ЦИФРОВИЙ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛОПАТОК ГАЗОВОЇ ТУРБИНИ

Ключник В.С., Ткач М.Р., Золотий Ю.Г., Проскурін А.Ю., Галинкін Ю.М.

Abstract. Показано поліпшення якості спекл-інтерферограмми форм коливань лопаток турбін за допомогою методу стробування випромінювання. Для зменшення впливу спекл-шуму на роздільну здатність інтерферограмми запропоновано метод багатокадрового усереднення N зображень ідентичної картини смуг з некорельованими шумами.

Ключові слова: спекл-інтерферометрія, турбінні лопатки, форми коливань, стробоскопія

УДК 621.4: 534.13: 536.2

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПРИМУСОВОГО ЗАПУСКУ ТЕРМОАКУСТИЧНОГО ДВИГУНА НА ПРИКЛАДІ КОНТЕЙНЕРОВОЗУ ТИПУ EXPLORER CLASS

Московко О.О.

*асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетика
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
oleksiy.moskovko@nuos.edu.ua*

Анотація. Робота присвячена розробці системи утилізації низькотемпературних ВЕР в процесі регазифікації скраплених палив. Запропонована схема їх утилізації на основі термоакустичного турбогенератора. Проведено розрахунки підвищення ефективності утилізації ВЕР за рахунок запропонованої системи примусового запуску термоакустичного двигуна.

Ключові слова: СЕУ; термоакустичний турбогенератор; низькотемпературні ВЕР; скраплені палива.

Морське судноплавство є ключовою складовою світової економіки, що забезпечує більш як 90% міжнародної торгівлі. Морські судна, в порівнянні з іншими видами транспорту, скидають до атмосфери менше вуглекислого газу в т/км, але, враховуючи його масштаби, морський сектор є одним зі значних факторів глобального екологічного впливу. Судноплавна індустрія відповідає за викиди приблизно $1,1 \cdot 10^9$ т вуглекислого газу (близько 3% від загального об'єму викидів), а також $2,3 \cdot 10^6$ т оксидів сульфуру та $3,2 \cdot 10^6$ т оксидів азоту на рік [1, 2]. У зв'язку з цим, починаючи з 2000-х років, міжнародною морською організацією (ІМО) було прийнято низку нормативних актів спрямованих на зменшення викидів шкідливих речовин до атмосфери з суден. Враховуючи високу конкурентність між судовласниками та операторами – було задіяно велику кількість ресурсів як зі сторони фірм-виробників суднового обладнання так і наукової спільноти до вирішення поставлених завдань.

Аналіз літературних джерел показав, що в довгостроковій перспективі, основним найбільш доцільним варіантом зменшення шкідливих викидів до атмосфери з суден стануть газоподібні палива, як скраплені, так і стиснені. На перших етапах збільшиться об'єм використання скрапленого природного газу (СПГ), а в подальшому планується впровадити в якості основного виду палива на судах – скраплений аміак, що буде продукуватися за рахунок відновлюваних джерел енергії. На початку 2020 року основні світові гравці ринку суднових двигунів у співпраці з операторами суден та дослідними інститутами – заявили про початок широкомасштабних програм з вивчення можливостей використання аміаку в якості основного виду палива для суден.

Використання скраплених газоподібних палив передбачає складну паливopідготовку з приведенням їх параметрів до робочих умов, а саме тиску та температури. В даний час існують технології утилізації кріогенних ВЕР в стаціонарній енергетиці, що застосовуються, як правило, на терміналах регазифікації СПГ. Найбільш доцільним варіантом застосування систем утилізації кріогенних ВЕР судових ДВЗ є системи з виробленням електричної енергії, як універсального типу енергії. Але більшість із них не можливо застосувати в судновій енергетиці за тими чи іншими причинами. В якості альтернативного варіанту системи утилізації кріогенних ВЕР скраплених газоподібних палив розглядаються термоакустичні теплові машини (ТАТМ). Конструктивно ТАТМ являє собою замкнутий резонатор який заповнений робочим тілом – газ (повітря, гелій, аргон, або їх суміш). В порожнині резонатору розташований модуль термоакустичних перетворень (МТП) – пориста матриця (регенератор) – пористе тіло з мікроканалами, яка з обох боків оточена теплообмінниками – нагрівачем та охолоджувачем. Завдяки теплообмінникам – в матриці формується повздовжній градієнт температури. В МТП відбувається процес перетворення теплової енергії в акустичну (термоакустичні двигуни (ТАД), чи навпаки – акустичної енергії в теплову (термоакустичні теплові насоси (ТАТН))

Наявність кріогенних теплоносіїв надає змогу запропонувати енергогенеруючу СПГ систему паливopідготовки з використанням ТАТМ. Така система є привабливою для таких суден як СПГ танкери та судна з СПГ паливами [3].

Зараз на судах з СПГ паливами в застосовується спеціальна система регазифікації, яка забезпечує отримання та подачу газового палива до двигуна. В більшості існуючих систем регазифікації низькотемпературний потенціал кріогенного палива практично втрачається.

Для створення енергогенеруючої системи регазифікації пропонується в якості нагрівачів скрапленого газу використати блок низькотемпературних ТАД (рис. 1).

Важливо підкреслити, що така схема може бути використана для робочих середовищ з різними температурами, оскільки в ТАТМ в якості робочого тіла використовується гелій, що виключає можливі проблеми пов'язані з низькими, кріогенними температурами на поверхні внутрішніх теплообмінників ТАД.

Принцип роботи системи наступний: в нагрівач 7 термоакустичного двигуна (ТАД) насосом 3 подається забортна вода (за умови, що її температура на виході з останнього теплообмінника $\geq 0^{\circ}\text{C}$ для морської та $\geq 4^{\circ}\text{C}$ для прісної води) чи прісна вода, що підігріта ВЕР з двигуна (з системи охолодження чи інше), в охолоджувач 8 з ємності 1 за допомогою насоса 2 надходить ЗПГ, при цьому за рахунок створеного градієнту температур ТАД починає працювати. В охолоджувачах ТАД 8 температура ЗПГ підвищується з -162°C до $10-15^{\circ}\text{C}$, і ЗПГ змінює свій агрегатний стан на ГПГ.

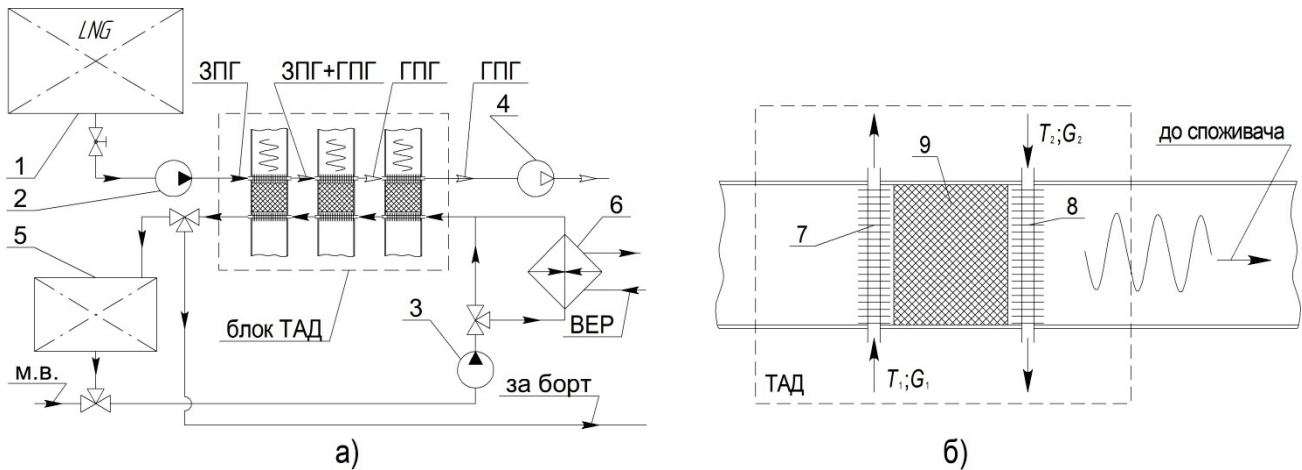


Рисунок 1 -Загальна принципова схема регазифікації ЗПГ на судні з використанням ТАД:

а) – загальний вигляд, б) – збільшена схема ТАД:

- 1 – ємність з ЗПГ; 2,3 – насоси; 4 – компресор; 5 – цистерна з прісною водою;
6 – теплообмінник ВЕР двигуна; 7,8 – теплообмінники, відповідно нагрівач та охолоджувач;
9 – стек.

В роботі [4] авторами було подано експериментальні дослідження процесу запуску ТАД – доведено, що швидкість підведення тепла впливає на його пускові характеристики. Запропонована система примусового запуску на основі електричного стартового нагрівача, що зможе забезпечити гарантований запуск ТАД за умов роботи на перехідних або часткових режимах. Дана особливість дозволяє розширити робочий діапазон ТАД в системах утилізації тепла на судах. Як приклад розглянемо судно CMA CGM Marco Polo місткістю 16022 TEU з ГД WARTSILA 14RT-FLEX96 потужністю 63840 кВт, потужність СЕС складає 6600 кВт. При цьому компанія CMA CGM оприлюднювала наміри щодо переведення цієї серії контейнеровозів на СПГ.

На основі даних навантаження ГД (рис. 2а), поданих в роботі [5], було проведено розрахунки системи утилізації низькотемпературних ВЕР на основі комплексу модулів термоакустичних турбогенераторів з врахуванням встановлення системи примусового запуску ТАД (рис. 2б).

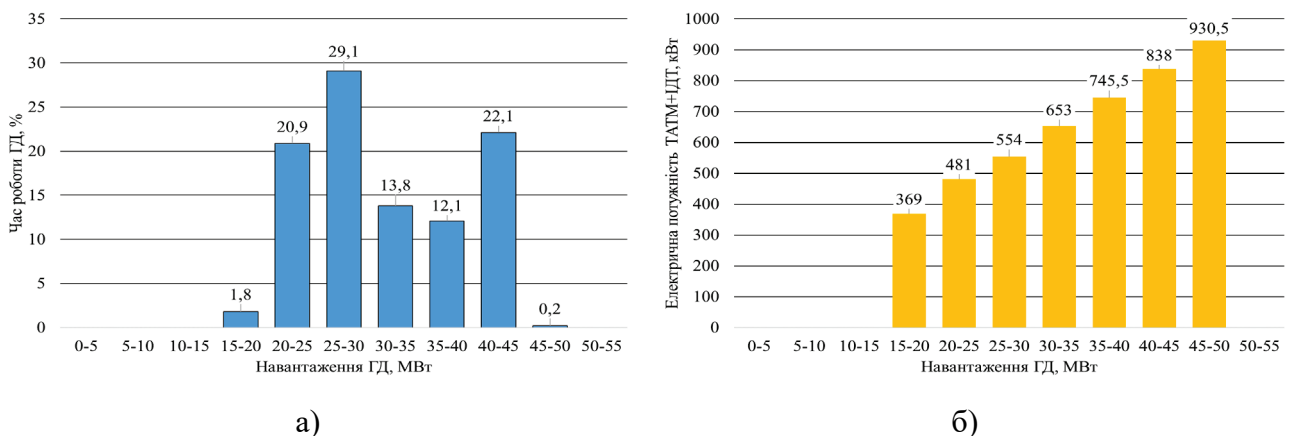


Рисунок 2 – Гістограми: а) рейсового навантаження ГД; б) розрахункові значення вироблення електричної енергії термоакустичним турбогенератором.

Висновки. Розрахунки системи утилізації низькотемпературних ВЕР процесу регазифікації СПГ палива термоакустичним турбогенератором, на прикладі контейнеровозу типу EXPLORER CLASS, показали можливість отримання 4,4 – 5,1 % від номінальної потужності ГД – в залежності від його режиму роботи. Система примусового запуску ТАТМ, на основі застосування додаткового електричного нагрівача для гарантування його безперервної роботи на перехідних режимах дозволяє збільшити повноту утилізації, за рахунок збільшення робочого часу по відношенню від загального часу роботи ДВЗ до 93%, як наслідок підвищити частку використання енергії процесу регазифікації газоподібного палива до 14%.

Література:

1. EEDI – rational, safe and effective // International Maritime Organization (IMO): web site. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx> (Last accessed: 02.10.2021).
2. Energy technology perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations International Energy Agency. Paris, 9 June 2017. URL: <https://eneken.ieej.or.jp/data/7432.pdf> (Last accessed: 02.10.2021).
3. Prevention of Air Pollution from Ships // International Maritime Organization (IMO): web site. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx> (Last accessed: 02.10.2021).
4. Коробко В.В. Особливості процесу запуску термоакустичних двигунів за умов використання низькотемпературних джерел теплової енергії [Текст] / В. В.Коробко, О.О. Московко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – №8 (115). – С. 50-54.
5. СПГ fuelled PERFECt Piston Engine Room Free Efficient Containership // DNV GL – Maritime, Hamburg, Germany URL: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpgcglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.dnv.com%2FImages%2FGas%2520Tech%2520W%25C3%25BCrsig_2015-10_web_tcm8-45310.pdf&cldn=1140568&chunk=true (Last accessed: 02.10.2021).

EVALUATION OF EFFICIENCY OF THE FORCED STARTING SYSTEM OF THERMOACOUSTIC ENGINE ON THE EXAMPLE OF EXPLORER CLASS CONTAINER VESSEL

Moskovko Oleksii Oleksiiiovych

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, operations of ship power plants and heat power department

Annotation: The work is devoted to the design of the system of utilization of cold energy utilization in the process of regasification of liquefied fuels. The scheme of their utilization on the basis of the thermoacoustic

turbo generator is offered. Calculations of increase of efficiency of utilization of waste heat at the expense of the offered system of forced start of the thermoacoustic engine are carried out.

Key words: ship power plant; thermoacoustic turbo generator; cold energy utilization; liquefied fuels.

УДК 621.036.07

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГОРІННЯ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Колбасенко О.В.

аспірант,

orden2020@gmail.com,

Димо Б.В.

кандидат технічних наук, професор завідувач кафедри

dymobv@gmail.com

Кафедра технічної теплофізики і суднових паровиробних установок

Національний університет кораблебудування ім.адм.Макарова

м. Миколаїв, Україна

Анотація. На основі експериментальних даних і положень Нормативного методу представлені результати аналітичних досліджень горіння водопаливних емульсій на основі мазуту М40 з водомісткістю до 42,5%, які показують, що 65...45% атомів водню із води емульсії приймають участь в процесі горіння, що підтверджує достовірність проведених експериментальних досліджень.

Ключові слова: мазут, водопаливні емульсії, водо вміст, атоми водню, теплота реакції рекомбінації.

Для оцінки достовірності одержаних даних експериментальних досліджень [1, 2, 3] здійснювались порівняння з опублікованими даними [4, 5, 6, 7] виконано аналітичне розрахункове дослідження горіння мазуту і ВПЕ на його основі згідно положень Нормативного методу «Тепловий розрахунок котлів» (1995 рік) при зміні водовмісту від 0 до 42,5% при $\alpha = 1,2$.

Результати аналітичного дослідження показали, що зі зростанням водовмісту (зменшенням долі палива у складі ВПЕ) об'єм газів зменшується в 1,4 рази (при водовмісті 30%), незважаючи на зростання об'єму водяної пари. Тому вклад теплоємності H_2O з врахуванням об'ємної долі водяної пари в димових газах при розрахунках теплоти газів зростає до 17% (при зменшенні вкладів теплоємності інших компонентів димового газу). Тому середнє значення теплоємності димового газу в цілому має максимальне значення при водовмісті 30%. Зростання об'ємної долі водяної пари (r_{H_2O}) приводить до збільшення об'ємної долі $r_H = (r_{H_2O} + r_{RO_2})$, незважаючи на падіння r_{RO_2} .

Розрахунки теплових балансів КЗ виконувались з врахуванням економії витрати ВПЕ, економії чистого палива [1, 2], а також значень максимальних температур газів, що встановлені експериментально [3], що можливо за рахунок теплоти реакції рекомбінації атомів водню води і ВПЕ (Q_{H^+}).

Послідовність і підсумкові результати представлені в таблиці .

Результати аналітичних досліджень горіння мазуту і ВПЕ на його основі

W, %	2	5	10	15	20	25	27	30	35	40	42,5
Максимальні температури газів КЗ (експеримент), θ_r , °C	1815	1860	1900	1960	1990	1995	2000	1970	1950	1905	1880
Ентальпія газів по значенню θ_r , H_r^{max} кДж/кг $H_r = f(\theta_r)$	38118	38336	37453	36651	35630	33856	33343	31502	29130	26580	25331
Теплота на підігрів, випаровування і перегрів пари води до 1200°C, $Q_{вип}$ кДж/кг	-	221	503	664	885	1107	1162	1328	1549	1770	1862
Теплота на здійснення роботи при мікровипуху $Q_{роб}$ кДж/кг	-	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
Сумарна кількість теплоти, яка виділяється в КЗ, Q_c , кДж/кг $Q_c = Q_{вип} + Q_{роб} + H_r$	40138	38637	38041	37405	36610	35063	34610	30794	32940	28470	27318
Адіабатична температура газів в КЗ, °C $\theta_a = f(Q_c)$	1850	1900	1960	2000	2035	2040	2050	2040	2010	1975	1950
Теплота згорання мазутної частини ВПЕ, Q_m кДж/кг	39118	37269	35315	33350	31375	29405	28992	27434	25464	23495	22482
Теплота реакцій рекомбінації H_1^+ , Q_{H^+} кДж/кг $Q_{H^+} = Q_c - Q_m$	0	1368	2726	4055	5235	5658	5618	5506	5330	4975	4836
Ентальпія газів на виході із КЗ при 1200°C, H_{1200} кДж/кг	24686	23580	22481	21298	20276	19193	18911	18074	16972	15870	15319
Корисне тепловиділення в КЗ Q_n кДж, $Q_n = V_{ВПЕ}(Q_c - H_{1200})$	14432	14756	14972	15353	15354	14663	14432	13428	12158	10710	10012
Відносне значення Q_n/β_r корисного тепловиділення в КЗ, $\beta_r = Q_m/Q_{ВПЕ}$	1,0	0,978	0,964	0,94	0,94	0,984	1,0	1,075	1,187	1,3475	1,4415
Процент іонів H^+ води ВПЕ, γ_{H^+} , що приймає участь в горінні, γ_{H^+}	-	65,3	65,0	64,4	62,6	54,0	51,12	43,75	36,3	29,65	0,2713
Маса атомів водню H^+ , що приймає участь в горінні ВПЕ, - г/кг ВПЕ - мас. %, γ_{H^+}	-	3,63 0,37	7,1 0,74	10,5 1,12	13,6 1,45	14,7 1,5	14,6 1,46	14,3 1,33	13,84 1,17	12,92 0,96	12,6 0,87
Еквівалентна маса водню H_2 при $Q^0=120$ МДж/кг, - г/кг ВПЕ - маса %, γ_{H_2}	-	11,65 1,19	22,8 0,36	38,8 4,6	43,6 4,65	47,16 4,8	46,84 4,7	45,9 4,27	44,4 3,75	41,5 3,08	40,4 2,8

По експериментальним даним максимальних значень температур газів по довжині і перерізу камери згорання (КЗ) [3] (при різних значеннях водовмісту ВПЕ і $\alpha = 1,2$) і по знайденим розрахунковим даним складу димових газів (об'єми компонентів при різних водовмістах і $\alpha = 1,2$) розраховані значення максимальних ентальпій H_r , кДж/кг. До цих значень сумуються розраховані втрати теплоти на підігрів, випаровування води, перегрів пари до 1200°C і витрати теплоти на роботу зі здійснення мікровипухі (по літературним даним). Ця сума ($Q_c = H_r + Q_{вип} + Q_{роб}$) розглядається як адіабатна ентальпія, по якій (знаючи склад газів) розрахована адіабатна температура газів θ_a . По кількості чистого палива в емульсії розрахована теплота, що виділяється при горінні мазутної частини ВПЕ Q_m (з врахуванням втрат теплоти q_3 і q_4). Тоді теплота реакції рекомбінації атомів водню дорівнює різниці $Q_c - Q_m = Q_{H^+}$, за допомогою якої і одержана як економія витрати ВПЕ (в межах

водовмісту 0...27%), так і економія чистого палива. По теплоті, що виділяється при реакції рекомбінації Q_{H^+} , розраховані процентна кількість атомів водню H^+ із води ВПЕ, що прийняли участь в реакції рекомбінації (і забезпечили економію ВПЕ). Значення процентів відповідає літературним даним [4] (по міченим радіацією іонів атомарного кисню води ВПЕ і сучасних даних з плазменних реакцій [5,6]), що підтверджує достовірність методики розрахункових досліджень, прийнятої гіпотези розвитку плазмених процесів при мікрровибухах краплі ВПЕ. По цим даним розрахована маса в грамах (і масові проценти) атомів водню при теплоті реакції рекомбінації (385000 КДж/кг·атом) і еквівалентна маса молекулярного водню з теплотою згоряння 120000 КДж/кг і масовий процент по відношенню до маси 1 кг ВПЕ. По різниці ентальпій вимірюваних максимальних температур газів (п.1) і ентальпій газів на виході їх КЗ (при 1200°C) розраховано корисне тепловиділення $Q_T = V_{ВПЕ} \cdot (H_T - H_{1200})$, яке пояснює ріст температур газів при зміні водовмісту, характер зміни яких відповідає даним Інституту Горіння Одеського держуніверситету і даним Дніпровського держуніверситету в температурі газів в доменій печі, що близькі до наших даних при водомісткості 8...12%.

Висновок. Проведені аналітичні дослідження горіння підтвердили, що 65...35% атомів водню із води ВПЕ, які з'являються в потоці газів при проходженні плазмових процесів, приймають участь в реакції рекомбінації, що підтверджує достовірність проведених досліджень з активації горіння ВПЕ.

Література

1. Технология повышения технико-экономической и экологической эффективности котельных установок физико-химической коррекцией состава водотопливных эмульсий / А.Н.Филиппчук, О.В.Колбасенко, А.П.Шевцов, Б.В.Димо // PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE. – Кишинеу: Институт энергетики Академии наук Молдовы. – 2021. – № 3(51). – С. 62-77.

DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.3-51.06>

2. Підвищення техніко-економічної ефективності суднових котельних установок при спалюванні водопаливних емульсій / О.М.Філіппчук, О.В.Колбасенко // "Збірник наукових праць НУК". – Миколаїв: НУК, – 2020. – № 1 (479). – С. 51-60.

3. Колбасенко О.В. Вплив способів вводу води в полум'я на ефективність горіння і викиди оксидів азоту // Вісник Приазовського державного технічного університету. Вип.40. Серія: Технічні науки. – 2020. – С.150-158.

4. Лебедев О.Н. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях / О.Н.Лебедев, В.А.Сомов, В.Д.Сисин. – Л.: Судостроение, 1988. 108 с., ил. (Экономия топлива и электроэнергии).
5. Долматов Д.А. Химическая кинетика реакций возбужденных частиц при слабой ионизации среды / Долматов Д.А., Кукурудза А.В., Хадживанд М. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – №8 (95).
6. Долматов Д.А. Генерация гидроксидов и атомарного кислорода вблизи малых плазменных включений // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – №8 (105).
7. Синайский Н.А. Использование метода тяжелой кавитации для сжигания мазута и оргэмульсии / Синайский Н.А., Гошей Т.А. // Теплоэнергетика. – 2003. – №6.- С.33-37.

RESULTS OF ANALYTICAL RESEARCH COMBUSTION OF WATER FUEL EMULSIONS

Kolbasenko O.V. graduate student, orden2020@gmail.com

Dymo B.V. Candidate of Technical Sciences, Professor, dymobv@gmail.com

Department of Technical Thermophysics Head

shipbuilding universities adm.Makarov

Mykolaiv, Ukraine

Abstract. Based on experimental data and the provisions of the Normative method, the results of analytical studies of combustion of water fuel emulsions based on fuel oil M40 with a water capacity of up to 42.5%, which show that 65... 45% of hydrogen atoms from water emulsions participate in the combustion process

Keywords: fuel oil, water fuel emulsions, water content, hydrogen atoms, heat of recombination reaction.

Секція № 4. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ВНЗ

УДК 304.2

ФОРМУВАННЯ "SOFT SKILLS" ЯК ОДНЕ З ПРИЗНАЧЕНЬ ГУМАНІТАРНОЇ СКЛАДОВОЇ ОСВІТНІХ ПРОГРАМ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Патлайчук О. В.

кандидат філософських наук,

доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

volnistik@gmail.com

Анотація. Обґрунтована необхідність отримання сучасним інженером "м'яких навичок" ("soft skills") в процесі навчання в університеті. Розглянуто вплив гуманітарних дисциплін на цей процес. Позначені і конкретизовані основні "м'які навички", необхідні для роботи інженера.

Ключові слова: soft skills; спілкування; інтелектуальна допитливість; відкритість до зворотного зв'язку; креативність.

Гуманітарна складова освітніх програм технічних спеціальностей виконує багато функцій. Традиційно дослідники, розглядаючи це питання, підкреслюють її роль у вихованні духовно багатих, національно свідомих, високоморальних фахівців, загальноосвітній рівень яких має відповідати зростаючим вимогам суспільства. Визначається, що гуманітарні дисципліни мають прилучати студентів до здобутків національної та світової культури, формувати у них національний світогляд та відповідні моральні принципи й цінності, естетичні смаки і вподобання.

Менш дослідженою темою, але темою, яка в останні роки набуває все більшої популярності, є вплив гуманітарних дисциплін на формування у студентів т.зв. "м'яких навичок" ("soft skills").

Сучасному інженеру, для того щоб здійснити успішну кар'єру, потрібно крім належної освіти та відповідного технічного досвіду (так званих "hard skills") вміти демонструвати ще й багато "soft skills" – ключових навичок, необхідних для ефективної взаємодії у колективі [1].

Чому "soft skills" настільки важливі для сучасного інженера? Якою б великою чи маленькою не була компанія, у якій він працює, все одно він ніколи не буде працювати у вакуумі. Все, що він має робити, завжди є частиною більшої системи. Йому потрібно вміти спілкуватися та співпрацювати з іншими інженерами, які працюють над різними частинами того ж самого проєкту, а також взаємодіяти з працівниками інших служб, відділів, секторів підприємства [2].

Вміле використання "soft skills" членами колективу створює комфортні умови роботи в колективі. Прямим наслідком цього є досягнення високої ефективності його роботи і створення ефективного кінцевого продукту.

Усі "soft skills", які знадобляться сучасному інженеру, можна об'єднати у кілька груп [3].

Перша і найбільш важлива група може бути охарактеризована як **СПІЛКУВАННЯ** (комунікація).

Як і будь-яка робота, спілкування – запорука вашого успіху як інженера. Менеджери з працевлаштування шукають кандидатів, які б могли чітко і лаконічно передавати свої ідеї.

Не тільки важливо спілкуватися з колегами-інженерами, але також важливо вміти працювати з непрофесіоналами, оскільки напевно будуть моменти, коли вам доведеться співпрацювати з людьми з інших підрозділів, або потрібно буде пояснити замовнику, чому щось не можна зробити так, як він просив, і вам потрібно вміти зробити це якомога простіше.

До "soft skills", пов'язаних із спілкуванням, відносять: здатність до активного слухання; здатність робити публічні виступи та презентації; письмові навички; здатність до вербального та невербального спілкування; здатність вести перемовини; здатність відстоювати свою точку зору; здатність бути лідером; здатність до командної роботи; здатність до співчуття; терпіння; дипломатія.

Друга група інженерних "soft skills" – це **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ДОПИТЛИВІСТЬ**.

Менеджери з найму шукають людей, які мають звичку до постійного інтелектуального самоудосконалення. Технології постійно змінюються. Те, що ви дізналися рік тому, зараз вже може бути застарілим. Вам повинно бути притаманне бажання до постійного самонавчання і це має бути безперервним процесом. Інженер повинен постійно

осмислювати те, над чим він працює. Ставити питання: "Чому саме так ми це робимо?", "Чому ми робимо це в такому порядку?", "Чому ми взагалі це робимо?" та ін.

До "soft skills", пов'язаних із інтелектуальною допитливістю, відносять: креативність; критичне мислення; здатність застосовувати нове; здатність до дослідної діяльності; здатність до мозкового штурму; здатність до розв'язання проблем.

Третя група інженерних "soft skills" – це **ВІДКРИТІСТЬ ДЛЯ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ**.

В процесі роботи важливо не тільки прийняти зворотний зв'язок (як позитивний, так і негативний), але й застосувати його відповідно. Відкритість для зворотного зв'язку – це важлива якість, яку шукають менеджери з найму під час проведення співбесід на посади інженера.

До "soft skills", пов'язаних з відкритістю для зворотного зв'язку, відносять: здатність пристосовуватися; здатність до співпраці; здатність до самоаналізу; стійкість; повага до думки інших; гнучкість; керування своїми емоціями; смиренність.

Це "м'які навички", які є необхідними для сучасного інженера. Більшою або меншою мірою функції формування таких навичок виконують усі гуманітарні дисципліни освітніх програм технічних спеціальностей. Проте, це не заперечує того факту, що формування "soft skills" певною мірою має відбуватися протягом навчання за усіма освітніми компонентами освітньо-професійної програми.

Література:

1. Doyle A. Important job skills for engineers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.thebalancecareers.com/list-of-engineering-skills-2063751>.
2. Borselina R. All your questions about soft skills and work – Answered! [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.themuse.com/advice/soft-skills-definition-examples>.
3. Jackson-Wright O. Attention engineers: these are the soft skills hiring managers want you to have [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.themuse.com/advice/engineers-soft-skills-hiring-managers-want>.

FORMATION OF SOFT SKILLS AS ONE OF THE PURPOSES OF THE HUMANITARIAN COMPONENT OF EDUCATIONAL PROGRAMS OF TECHNICAL SPECIALTIES

Patlaichuk O. V., Associate Professor of Social Sciences and Humanities Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The necessity of acquiring "soft skills" by a modern engineer in the process of studying at the university has been substantiated. The influence of humanitarian disciplines on this process is considered. The basic "soft skills" necessary for the work of an engineer are indicated and specified.

Keywords: soft skills; communication; intellectual curiosity; openness to feedback; creativity.

УДК 304.2

SOFT SKILLS AS NECESSARY QUALITIES OF A CONTEMPORARY ENGINEER

Patlaichuk O. V.

Associate Professor of Social Sciences and Humanities Department

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

volnistik@gmail.com

Patlaichuk V. M.

Head of the Department of Turbines

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

volodymyr.patlaichuk@nuos.edu.ua

Abstract. The paper gives a general definition of the term "soft skills", analyzes how these skills work, calls the main types of soft skills, gives information about ways and means of acquiring such skills.

Keywords: soft skills; communication; time management; adaptability; creative thinking.

Soft skills are non-technical skills that relate to how you work. They include how you interact with colleagues, how you solve problems, and how you manage your work. Alternate names for soft skills are interpersonal skills, essential skills, noncognitive skills [1].

Let's find out what soft skills are, types and examples of soft skills, and ways to develop soft skills.

Soft skills relate to how you work. Soft skills include interpersonal (people) skills, communication skills, listening skills, time management, and empathy, among others.

Hiring managers typically look for job candidates with soft skills because they make someone more successful in the workplace [2]. Someone can be excellent with technical, job-specific skills, but if they can't manage their time or work within a team, they may not be successful in the workplace.

How soft skills work? Soft skills are also important to the success of most employers. After all, nearly every job requires employees to engage with others in some way.

Another reason hiring managers and employers look for applicants with soft skills is that soft skills are transferable skills that can be used regardless of the person's job. This makes job candidates with soft skills very adaptable employees.

Soft skills are particularly crucial in customer-based jobs. These employees are in direct contact with customers. It takes several soft skills to be able to listen to a customer and provide that customer with helpful and polite service.

What are the types of soft skills? Soft skills include the personal attributes, personality traits, and communication abilities needed for success on the job. Soft skills characterize how a person interacts in his or her relationships with others.

Soft skills include: Adaptability, Communication, Creative thinking, Dependability, Work ethic, Teamwork, Positivity, Time management, Motivation, Problem-solving, Critical thinking, Conflict resolution.

How to get soft skills? Unlike hard skills that are learned, soft skills are similar to emotions or insights that allow people to “read” others. These are much harder to learn, at least in a traditional classroom. They are also much harder to measure and evaluate.

Educational programs cover soft skills. They discuss soft skills so seekers know what they are and the importance of highlighting them on their resume [3].

If you've been working for a while, chances are you've already developed some soft skills. For example, if you've worked in retail, you've worked in a team environment. If you've helped unhappy customers find a resolution, you've used conflict resolution and problem-solving skills.

If you're new to work, think of other activities you've done, either through school or on a volunteer basis. Chances are you've had to communicate, adapt to changes, and solve problems.

You can also reflect on soft skills you need to develop. For example, instead of just discussing problems with your manager, suggest solutions to those problems. If you see a colleague struggling, offer to pitch in. If there's a process that could improve your workplace, suggest it.

Employers typically don't directly ask if you have soft skills. Instead, they present situations and ask what you would do to assess whether you have soft skills [4].

When you're applying for a new job, highlight your soft skills as well as your job-specific ones. First, make a list of the soft skills you have that are relevant to the job you want. Compare your list of soft skills with the job listing.

Include some of these soft skills in your resume. You can add them to a skills section.

You can also mention these soft skills in your cover letter. Pick one or two soft skills you have that appear to be the most important for the job you'd like. In your cover letter, provide evidence that shows you have those particular skills.

Finally, you can highlight these soft skills in your interviews. You can demonstrate your soft skills during the interview by being friendly and approachable. If you pay close attention while the interviewer is talking, you will show your listening skills.

References:

1. South Dakota Department of Education. Soft Skills [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doe.sd.gov/CTE/softskills.aspx>.

2. Society for Human Resource Management / Mercer Survey Findings: Entry-Level Applicant Job Skills [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.shrm.org/hr-today/trends-and-forecasting/research-and-surveys/PublishingImages/Pages/Entry-Level-Applicant-Job-Skills-Survey-/Entry-Level%20Applicant%20Job%20Skills%20Survey.pdf>.

3. Office of Disability Employment Policy. Skills to Pay the Bills [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dol.gov/sites/dolgov/files/odep/topics/youth/softskills/softskills.pdf>.

4. University of Cincinnati. The Soft Skills That Will Land You Your Dream Job [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://grad.uc.edu/student-life/news/soft-skills.html>.

"SOFT SKILLS" ЯК НЕОБХІДНІ ЯКОСТІ СУЧАСНОГО ІНЖЕНЕРА

Патлайчук О. В., доцент кафедри соціально-гуманітарних дисциплін, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Патлайчук В. М., завідувач кафедри турбін, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Дається загальне визначення терміну "soft skills" (т.зв. "м'яких навичок"), аналізується як ці навички працюють, називаються основні типи soft skills, дається інформація про способи і шляхи придбання таких навичок.

Ключові слова: "soft skills"; спілкування; управління часом; адаптивність; творче мислення.

УДК 378. 147

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ВИВЧЕННЯ КУРСУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ СТУДЕНТАМИ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Кісстов Ю. В.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

kisetov499@ukr.net

Кукліна О. Ю.

кандидат технічних наук,

*доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

olga11kuklina@gmail.com

Анотація. Розглянуто деякі особливості вивчення курсу комп'ютерної графіки студентами машинобудівного напрямку з використанням системи автоматизованого проектування, що надає допомогу в сприйнятті і розумінні інженерної графіки, розвитку студентських наукових досліджень, інтенсифікації використання студентами отриманих теоретичних знань.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, інженерна графіка, студенти машинобудівного напрямку, інтенсифікація використання студентами теоретичних знань.

Використання засобів комп'ютерної графіки у навчальному процесі дозволяє на сучасному рівні вирішувати задачі професійної підготовки студентів технічних спеціальностей для умов сучасного виробництва, формує вміння складати креслярсько-графічну документацію за допомогою систем автоматизованого проектування.

Як відомо, інженерна графіка являється базовим курсом для більшості технічних спеціальностей і якість оволодіння даною дисципліною позначається на якості підготовки фахівців. В робочих програмах спеціалістів машинобудівного напрямку передбачено послідовне вивчення нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки.

Основна частина. Комп'ютерна графіка – це третій навчальний модуль у вивченні дисципліни “Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка”, що викладається на кафедрі інженерної графіки університету. Цю дисципліну вивчають студенти денного та заочного відділень всіх спеціальностей машинобудівного, кораблебудівного інститутів, інституту автоматики та електротехніки, окремих спеціальностей інституту комп'ютерних та інженерно-технологічних наук тощо.

Робоча програма передбачає, що на лекційних і практичних заняттях спочатку студенти набувають навичок роботи у системі AutoCAD, а саме – знайомляться з інтерфейсом системи, способами налагодження параметрів креслення, зберігання, копіювання та виводу креслення на друк. Вивчають команди побудови графічних примітивів, методи створення шарів на кресленні, вибору типів ліній, їх завантаження. Вчать застосовувати апарат об'єктної прив'язки, постійної та тимчасової, ознайомлюються з способами вибору об'єктів, командами простого редагування креслень та конструктивного редагування.

Наступний змістовий модуль присвячений виконанню проекційного креслення. Специфіка машинобудівних напрямів в тім, що студенти всіх курсів а особливо студенти старших курсів виконують значний об'єм графічно-розрахункових робіт по спеціальним дисциплінам із великою кількістю креслень. Вміння використовувати системи автоматизованого проектування в процесі навчання значно спрощує та полегшує виконання цих робіт.

Після засвоєння принципів проекційного креслення програма передбачає вивчення виробів кріплення та різьбових з'єднань на фрагменті технічних вузлів.

Останній змістовий модуль містить в собі відомості про 3-D моделювання в системі AutoCAD, а саме – каркасне та твердотільне моделювання, побудова стандартних об'ємних примітивів, побудова тіл способами видавлювання, обертання, по перерізам та інші, редагування об'ємних тіл: об'єднання, віднімання, перетин, виконання перерізу.

Практичні заняття проводяться в комп'ютерних класах з мультимедійним обладнанням. Студентам насамперед надається інформація про літературу, додаткові кафедральні методичні розробки, які містять варіанти, приклади та послідовність виконання завдання. Методичне забезпечення дозволяє ефективно проводити практичні заняття та суттєво підвищити самостійність виконання роботи.

При виконанні лабораторних робіт використовується програмне середовище AutoCAD.

Робочою програмою курсу передбачено виконання наступних графічних робіт:

1. Геометричне креслення.

При виконанні цього завдання студенти вивчають застосування таких команд редагування, як “Спряження”, “Фаска” та особливості виконання внутрішнього спряження.

2. Робоче креслення деталі по попередньо виконаному ескізу в середовищі AutoCAD.

При виконанні даної роботи студенти оволодівають навичками побудови взаємозв'язаних зображень предметів, правилами постановки розмірів на кресленнях, способами нанесення штрихування.

3. Робоче креслення машинобудівної деталі по двом заданим проекціям.

Закріплення навичок побудови взаємозв'язаних зображень предметів та розвиток просторового уявлення.

4. Креслення різьбових з'єднань.

В результаті виконання цієї роботи студенти закріплюють знання щодо умовного зображення різьби на кресленнях із дотриманням державних стандартів на прикладі виконання роз'ємних з'єднань деталей за допомогою кріпильних виробів: болта, гайки, шайби, шпильки.

5. 3D моделювання. Криві зрізу.

При виконанні трьохмірної моделі деталі студенти вивчають побудову типових твердотільних примітивів, методику створення тіл шляхом зсуву, обертання та видавлювання. Ознайомлюються з основними командами редагування та модифікації твердотільних моделей.

Робота “Криві зрізу” передбачає вивчення способів побудови тіла обертання та виконання зрізу його січними площинами. Студенти отримують знання, щодо використання видових екранів та розміщення необхідних проекційних видів в них по побудованому 3D-зображенню.

6. 3D моделювання. Наочне зображення деталі.

При виконанні цієї роботи студенти вчаться застосовувати проекційні зображення деталі для отримання її наочного 3D-зображення.

ВИСНОВКИ. Хотілося б відмітити важливість використання комп'ютерної графіки з позиції мотивації студентів. Вони з задоволенням виконують завдання за допомогою графічних пакетів і легко набувають навички роботи з ними. Студенти розуміють, що на сучасному виробництві креслення в основному виконують в системах графічного проектування, а не вручну. Необхідні знання щодо властивостей тіл та геометричних примітивів вони наочно набувають за допомогою засобів комп'ютерної графіки.

Розгляд особливостей вивчення курсу комп'ютерної графіки студентами машинобудівного напрямку показує, що використання графічних пакетів надає велику допомогу в сприйнятті і розумінні інженерної графіки, а також сприяє розвитку студентських наукових досліджень, інтенсифікації використання студентами отриманих теоретичних знань.

Література:

1. Куклина О.Ю. Лабораторные работы по компьютерной графике в среде проектирования AutoCAD: учебное пособие [Текст] / О.Ю. Куклина, А.П. Бойко. – Николаев: Издательство НУК, 2013. – 110 с.

SOME ISSUES OF STUDYING THE COURSE OF COMPUTER GRAPHICS BY STUDENTS OF MACHINE-BUILDING SPECIALTIES

Kisietov J. V., candidate of technical sciences, Associate Professor of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

Kuklina O. J., candidate of technical sciences, Associate Professor of Computer Integrated Technologies and Engineering Graphics

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Some features of studying the course of computer graphics by students of mechanical engineering with the use of computer-aided design, which helps in the perception and understanding of engineering graphics, the development of student research, intensification of students' use of theoretical knowledge.

Key words: system of automated design, engineering graphics, students of mechanical engineering, intensification of students' use of theoretical knowledge.

УДК 378.147:54

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

Семенов М.М.

*доцент НУК кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
mukola.semenov@nuos.edu.ua*

Соломонюк Д.М.

*кандидат технічних наук,
провідний інженер,
ДП НВГК «Зоря»-«Машпроект»
м. Миколаїв, Україна
dns_wrk@ukr.net*

Шаповалов Ю.О.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
yuriy_shapovalov_2011@ukr.net*

Анотація. Розглянуті особливості проведення лабораторного практикуму на прикладі дисципліни «Насоси і теплові двигуни». Приведено експериментальний стенд. Виявлені переваги та недоліки дистанційного навчання.

Ключові слова. Лабораторний практикум, віртуальна лабораторія.

Особливості навчально-виховного процесу у закладі вищої освіти потребують від викладача єдності педагогічних знань та педагогічної дії. Основна мета методичної підготовки – не самі собою теоретичні знання, а знання як інструмент побудови ефективної педагогічної взаємодії в різноманітних умовах, що постійно змінюються. [1]. Теорія «оздоблює спеціаліста надзвичайно потужним та ефективним знаряддям пізнання, виступаючи в сучасних умовах, фактично, в якості найбільш ефективного інтелектуального інструмента вирішення протиріч, що постійно виникають на практиці. Долаючи їх, теорія розвивається і стає здатною до вирішення більш глибоких протиріч [2].

В якості традиційних елементів навчання в навчальних закладах використовуються лекції, практичні заняття, семінари, лабораторні заняття, розрахункові завдання, курсове проектування, проходження технологічних і виробничих практик. Але лабораторний практикум - найбільш значимий і результативний компонент природничо-наукової, загальної професійної та спеціальної підготовки в області техніки і технологій, призначений для придбання навичок роботи на реальному обладнанні, з аналогом якого майбутньому фахівцю

доведеться мати справу в своїй практичній діяльності. Розгляд існуючих способів проведення лабораторних практикумів дозволяє виділити деякі загальні групи, наприклад, ідеальний практикум - коли пропонується перед проведенням експериментів комплектувати установку з безлічі різноманітних компонентів обладнання. Традиційний практикум пропонує навчальну установку, вже готову для проведення експерименту. Обидві групи вимагають багато вільного обладнання і часу для проведення роботи. Існує ризик псування устаткування при поганій підготовці студентів. Також великі грошові витрати на підтримку установок в робочому стані [1].

Альтернативою даним групам є віртуальний лабораторний практикум, який дозволяє при наявності однієї установки працювати великій кількості студентів, що знижує витрати на експлуатацію та дозволяє вберегти обладнання від невмілого використання. Установки віртуальних лабораторних практикумів особливо в умовах пандемії є відносною новинкою, тому залишається відкритим питання про недоліки та переваги даних систем.

У авторів існує можливість провести аналіз ефективності віртуального лабораторного практикуму на базі лабораторних робіт з дисципліни «Насоси і теплові двигуни». Збір даних проводився протягом двох семестрів в умовах реального освітнього процесу. Відразу слід звернути увагу на те, що при роботі не розглядалися, як недоліки, помилки програмного забезпечення і помилки повільного інтернету, які можливо виправити за допомогою розробників. Питання ставилося в більш загальному масштабі - чи корисний віртуальний лабораторний практикум в освітній діяльності чи ні.

Основною перевагою віртуальної лабораторії є можливість підключення великої кількості користувачів через мережу Інтернет. Тобто той, якого навчають може проводити лабораторні дослідження з будь-якого зручного йому місця і в будь-який зручний час. Також слід виділити систему допомоги тим, хто навчається, яка дозволяє при відсутності необхідних навичок отримати їх в процесі роботи. Студентам надано шість лабораторних робіт. При цьому обладнання складається всього лише з одного невеликого за обсягом комплексу, який простий в обслуговуванні і захищений від невмілого поводження (рис.1). \

В процесі експлуатації даного лабораторного практикуму були виявлені недоліки системи. Проблема полягає в тому, що той, якого навчають не може зіставити свої дії при роботі в віртуальному практикумі з роботою реальної лабораторної установки. Як показала практика, студенти не можуть відрізнити результати роботи систем моделювання від результатів, отриманих при проведенні реального експерименту. Ще один недолік не всі студенти вміють користуватися персональними комп'ютерами на базовому рівні. Отже, можна сформулювати загальні висновки по експлуатації даного лабораторного практикуму.

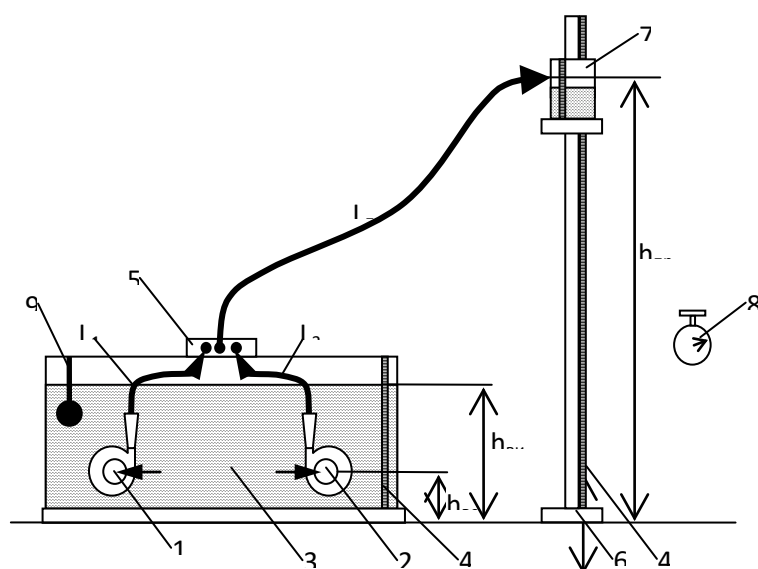


Рис. 1 – Схема і зовнішній вигляд лабораторного стану:

- 1 – насос №1; 2 – насос №2; 3 – вихідна ємність; 4 – шкала; 5 – монтажна ділянка; 6 – стійка з полицею; 7 – приймальна ємність зі шкалою; 8 – таймер;
9 – термометр

Переваги: низька вартість установки і експлуатації обладнання; захист від невмілого користування; зручний доступ до лабораторного комплексу; проста і зрозуміла система допомоги.

Недоліки: неповне розуміння студентами, взаємозв'язку схеми на екрані і реального обладнання, встановленого в комплексі; для користування комплексом необхідні базові навички роботи з комп'ютером і вміння навігації.

Таким чином, наявність віртуального лабораторного практикуму не завжди дозволяє повністю відмовитися від проведення робіт на класичному обладнанні. Прийнятний варіант використання практикуму пропонується для дистанційного навчання студентів (для студентів заочної форми навчання та в умовах пандемії)

Можливо, що дані висновки зроблені при недостатньому терміні експлуатації обладнання. Тому робота над аналізом ефективності лабораторного практикуму триває, і після накопичення більшої кількості інформації висновки результатів можуть бути переглянутими.

Література:

1. Методика викладання у вищій школі: Навчальний посібник /В. В Каплінський. – Вінниця: ТОВ «Ніланд ЛТД», 2015 – 224 с.
2. Бургин М.С. Аксиологические аспекты научных теорий / М.С. Бургин, В. И. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1991. – 183 с.

EXPERIENCE OF INTRODUCTION OF A VIRTUAL LABORATORY WORKSHOP FOR THE SPECIALTY OF HEAT ENERGY

Semenov Mykola Mykolaevich, Shapovalov Yuriy Alexandrovich
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine
Solomonyuk Denis Mykolaevich
Zorya-Mashproekt, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Peculiarities of conducting a laboratory workshop on the example of the discipline "Pumps and heat engines" are considered. An experimental stand is given. The advantages and disadvantages of distance learning are revealed.

Keyword: laboratory workshop, virtual laboratory.

УДК 811.111:621(076)

СУЧАСНІ ФАХОВІ ТЕРМІНИ У ДИЗЕЛЕБУДУВАННІ

Сорокіна Т. М.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

super_tan-sorokina@ukr.net

Лічко Б. М.

кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

bogdan.lychko@gmail.com

Анотація. Проведено аналіз сучасних фахових термінів, пов'язаних з розвитком суднових дизелів. Приведено використання таких термінів у описах двигунів та їх інструкціях по експлуатації. Розглянуто важливість знань цих термінів для забезпечення безаварійного використання сучасних суднових дизелів.

Ключові слова: фахові терміни, судновий дизель, розвиток дизелебудування.

Вступна частина. Сучасний розвиток дизелебудування спричиняє появу новітніх технологій, пов'язаних з використанням різних видів палива, систем автоматизованого керування двигуном, зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. Розвиток цих технологій спонукає до появи нових конструкцій, вузлів, механізмів, систем, а також і до впровадження фахових термінів, які дозволяють їх описати. Від сучасного фахівця потребується, як знання сучасних термінів, так і розуміння особливостей новітніх технологій, вміння використовувати сучасні комп'ютерні системи керування дизелем та обслуговувати його системи. Все це вимагає від суднових механіків знання професійних фахових термінів на англійській мові, для розуміння технологій приведених в опису двигуна та їх інструкціях по експлуатації.

Тема фахових термінів, пов'язаних з розвитком дизелебудування для забезпечення потреби підвищення рівня майбутніх судових механіків що володіють знаннями новітніх технологій використаних на сучасних судових дизелях є важливою, для забезпечення та обслуговування головних та другорядних механізмів на судах торгівельного флоту.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження чинників, що призводять до використання сучасних фахових термінів, пов'язаних з розвитком сучасного дизелебудування.

Дослідження цієї мети привело до необхідності вирішення наступних завдань:

- проведення аналізу сучасного розвитку судових дизелів;
- проведення аналізу новітніх технологій, які використовують сучасні фахові терміни.

Основна частина. На сучасному торгівельному флоті у якості головного двигуна дуже часто використовують двотактні та чотиритактні судові дизелі. На кожному типі дизелів постійно з'являються новітні технології, в першу чергу, пов'язані зі зниженням шкідливих викидів у навколишнє середовище. Нові вимоги відносно цих вимог, вже діють біля берегів Європи, Північної Америки. Одна з найсучасніших на сьогодні концепцій, пов'язаних зі зниженням шкідливих викидів, це концепція «Intelligent Diesel Engine» (інтелектуальний дизельний двигун), яка використовується на двотактних судових дизелях (рис. 1) [1].

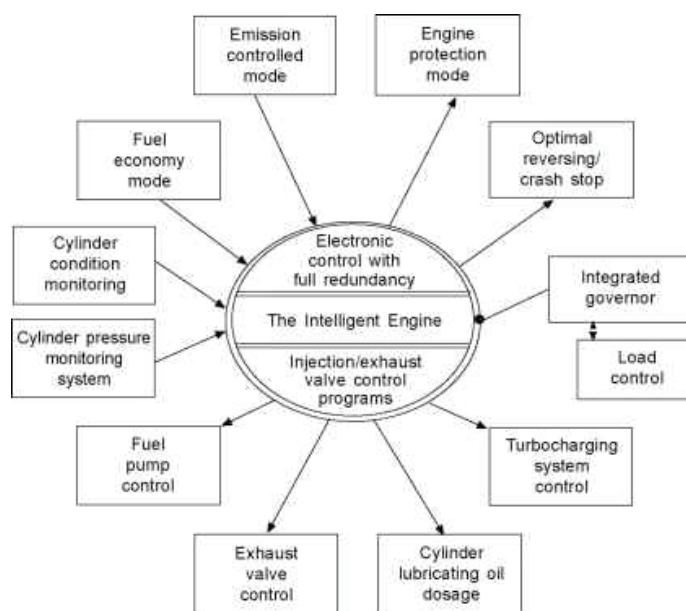


Рис. 1. Схема концепції «Intelligent Diesel Engine»

Ця концепція передбачає адаптивну систему автоматичного керування двигуном з елементами штучного інтелекту. Основа системи здатна сприйняти та аналізувати зміни зовнішнього середовища та відповідно їм підтримувати потрібний режим роботи двигуна з мінімальною кількістю шкідливих викидів у навколишнє середовище. Комп'ютерна система керування призводить нагляд за технічним станом двигуна, його робочими параметрами та

забезпечує працездатність двигуна. Все це досягається завдяки комп'ютерному керуванню випускним клапаном та упорскуванням палива у циліндр.

Цю концепцію використовують дві фірми, що виготовляють двотактні судові дизелі, це MAN B&W Diesel та Winterthur Gas & Diesel Ltd. (WinGD, колишня корпорація Wärtsilä). Реалізація її привела до появи нових термінів, які описують концепцію, блоки та систему керування.

Як приклад використання електронної системи керування «Intelligent Diesel Engine» на дизелях фірми MAN B&W Diesel, це двигуни типу ME. Основні системи та особливості, електронна система керування та її складові приведені у опису такого двигуна [2].

На дизелях фірми WinGD електронна система керування «Intelligent Diesel Engine» встановлюється на двигуни типу RT-flex/X. Основні системи та особливості двигунів цього типу, електронна система керування та її складові приведені у опису двигуна типу RT-flex/X, наприклад [3].

Електронна система керування випускним клапаном потребує відмови від розподільчого валу. Для забезпечення гнучкості керування клапаном використовується «air spring» для закриття, та гідравлічний привід для його відкриття. Термін «air spring» описує пневматичну систему, яка забезпечує закриття та підтримку випускного клапана у закритому стані. Це є одним з прикладів, коли нові технології призводять до появи сучасних фахових термінів, як в складі опису самої концепції, так и описі систем та вузлів.

Знання фахових термінів, які описують системи і обладнання нових технологій, дуже важливо та актуально. Це дозволяє судовому механіку забезпечити тривалу та якісну роботу двигуна, хід судна підчас тих чи інших несправностей.

Висновки. Використання сучасних технологій на судових дизелях призводить до появи фахових термінів, які описують ці технології, це у свою чергу призводить до потреби підвищення фахового рівня судових механіків. Знання сучасних термінів дуже важливо, тому що дозволяє оволодіти системами керування головним двигуном та допоміжними механізмами, їх якісним обслуговуванням.

Література:

1. Intelligent engines. URL: <https://www.beyonddiscovery.org/fuel-injection/intelligent-engines.html>.
2. MAN B&W S70ME-C8.5. Project Guide. MAN Diesel & Turbo, 2017. 369 p. URL: https://man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/epub/S70ME-C8_5.pdf.
3. WIN GD RT-flex50-D. Operation Manual. Winterthur Gas & Diesel, 2018 620 p. URL: [https://www.wingd.com/en/documents/rt-flex50-d/engine-operation/operation-manual-\(om\)/](https://www.wingd.com/en/documents/rt-flex50-d/engine-operation/operation-manual-(om)/).

MODERN PROFESSIONAL TERMS IN DIESEL CONSTRUCTION

Sorokina T. M., Lychko B. M.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding; Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The analysis of modern professional terms, concerning to marine diesel engine's development is considered. The use of such terms in engine manuals and their operating instructions is given. The importance of terms knowledge's for ensuring the safe use of modern diesels is considered.

Keywords: professional terms, marine diesel, development of diesel engineering.

УДК 378.147

ВИКОРИСТАННЯ CADMATIS У НАЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПРАКТИЧНИХ НАВИЧОК ПРОЕКТУВАННЯ

Нікончук С. В.

заст. директора з маркетингу ТОВ "Залів Шіп Дизайн"

м. Миколаїв, Україна

sergii.nikonchuk@zalivdesign.com

Єлеонська О. С.

старший викладач кафедри експлуатації суднових

енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

olga.yeleonska@nuos.edu.ua

Мітенкова В. С.

кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації

суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

vera.mytenkova@nuos.edu.ua

Анотація. Проаналізовано місце CAD-систем при підготовці фахівців з суднової енергетики. Зазначена важливість опанування саме спеціалізованих програм, до яких належить і CADMATIS. Наведено приклад практичного використання CADMATIS у навчальному процесі.

Ключові слова: програмне забезпечення CADMATIS, системи автоматизованого проектування, суднові системи, суднові енергетичні установки, фахові компетентності.

Вивчення систем автоматизованого проектування (CAD) є важливою і невід'ємною складовою професійної підготовки фахівців-інженерів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Суднові енергетичні установки та устаткування». Зокрема, це забезпечує відповідно до профілю освітньої програми такі фахові компетентності як «Здатність до практичного використання універсальних і спеціалізованих систем управління життєвим циклом (Product Lifecycle Management – PLM), автоматизованого проектування (Computer-Aided Design – CAD), виробництва (Computer-

Aided Manufacturing – CAM) і інженерних досліджень (Computer-Aided Engineering – CAE) в галузі суднової енергетики» та «Обізнаність з основами проектування, конструювання, монтажу, ремонту, експлуатації, технічного обслуговування судових енергетичних та електротехнічних установок, систем, пристроїв відповідно до освітньо-професійної програми».

Цілеспрямоване ознайомлення студентів з CAD-програмами під час навчання здійснюється насамперед в рамках викладання дисциплін «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка» та «САПР в судновій енергетиці», а при вивченні ряду дисциплін циклу професійної підготовки системи автоматизованого проектування додатково використовуються для виконання графічної частини курсових проектів, робіт, тощо. Базові знання з комп'ютерної графіки студенти зазвичай набувають при роботі з програмами AutoCAD і SolidWorks. При всіх перевагах даних автоматизованих систем для загальної інженерної підготовки, їх універсальність є одночасно і недоліком, оскільки обмежує практичне застосування для вирішення глибоко спеціалізованих технічних завдань, в т.ч. у галузі суднобудування.

Тому для підготовки конкурентоспроможних на ринку праці спеціалістів суднобудівної галузі вкрай важливим є опанування відповідного спеціалізованого програмного забезпечення, що широко застосовується в сучасних суднопроектних компаніях. Однією із подібних розповсюджених спеціалізованих CAD-програм є CADMATIS, що впроваджується в навчальний процес кафедри експлуатації судових енергетичних установок та теплоенергетики (ECEU та TE) при підготовці бакалаврів з освітньо-професійної програми «Суднові енергетичні установка та устаткування» у співпраці з провідною інжиніринговою компанією «Залів Шіп Дизайн». Під час проходження стажування у проектно-конструкторському бюро «Залів Шіп Дизайн» студенти мають можливість закріпити та поглибити отримані навички роботи з CADMATIS при виконанні реальних задач в рамках проектування суден.

Одним зі складних та трудомістких етапів проектування у суднобудівній галузі є компонування та прокладання трубопроводів різних загальносуднових та спеціалізованих систем, а також систем судових енергетичних установок. Суттєво спростити це заданням може використання спеціалізованого модулю CADMATIS Marine Outfitting and Piping. На рис. 1 представлена модель баластної системи у CADMATIS, виконаної по завданню на проектування, яке максимально наближено до реальних робочих умов. При достатній кількості напрацьованого матеріалу планується використовувати CADMATIS в курсовому проектуванні з дисципліни «Загальносуднові системи».

Слід зазначити, що застосування в рамках навчального курсового проекту CADMATIS значно наближує навчальне завдання до реального, формуючи тим самим у виконавців практичні навички використання спеціалізованої системи автоматизованого

проектування. Тим самим покращується якість підготовки фахівців, здатних після закінчення теоретичного курсу навчання досить швидко інтегруватися у реальний робочий процес у проектній компанії.

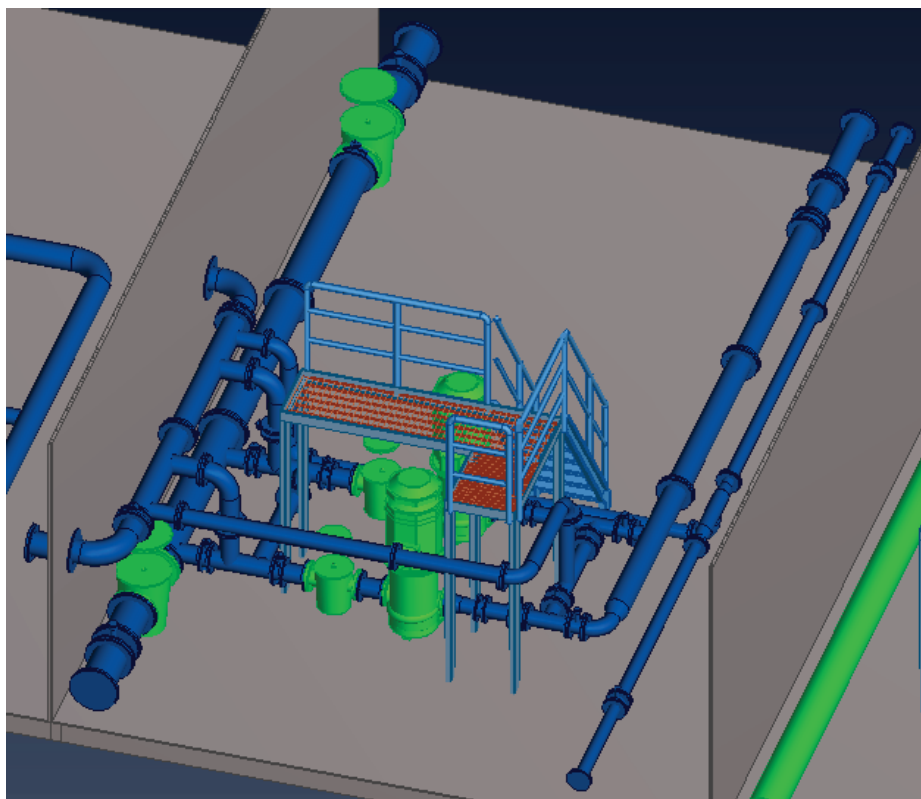


Рис. 1 Креслення баластної системи, виконане у програмі CADMATIC

Література:

1. Стандарт вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. Галузь знань 13. Механічна інженерія. Спеціальність 135. Суднобудування. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/135-sudnobuduvannya-bakalavr.pdf>
2. <https://www.cadmatic.com/en/>

USING CADMATIC IN ACADEMIC PROCESS TO DEVELOP PRACTICAL DESIGN SKILLS

Nikonchuk S. V., Marketing Director, Zaliv Ship Design, Mykolaiv, Ukraine

Yeleonska O. S., senior lecturer, Mitienkova V. S., PhD, Assoc. Prof

Department of Ship Power Plants Operation & Heat-power Engineering

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The place of CAD-systems application in the training of specialists in marine engineering is analyzed. The importance of mastering specialized programs including CADMATIC is noted. An example of practical use of CADMATIC in the educational process is given.

Keywords: CADMATIC software, computer-aided design systems, ship systems, ship power plants, professional competencies.

УДК 371.212.1

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДІВ ФАХОВОЇ ПЕРЕДВИЩОЇ ОСВІТИ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

Ратушняк І.О.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування
м. Миколаїв, Україна*

Маршак О.І.

*старший викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
Національного університету кораблебудування
м. Миколаїв, Україна
igor.ratushnyak@nuos.edu.ua*

Анотація. Розглянуто проблемні питання роботи закладів фахової передвищої освіти у сучасний період, намічено основні напрямки роботи для успішної роботи, акредитації і вступної кампанії 2022 року.

Ключові слова: фахова передвища освіта, фаховий молодший бакалавр.

Освітня діяльність в Україні з фахової передвищої освіти (ФПО) для підготовки фахових молодших бакалаврів (ФМБ) була започаткована у 2020 році і ставила наступні завдання: розширення можливостей закладів ФПО; практико-орієнтований характер освіти та фінансова автономія; розширення співпраці із закладами вищої освіти (ЗВО); орієнтація на конкретний регіон; розширення освітніх траєкторій (можливість продовжувати здобувати освіту за різними напрямками); розвиток нових форм здобуття освіти (дистанційна, мережева, дуальна освіта, екстернат, навчання на виробництві).

Незважаючи на постійні зміни у системі освіти України, реформа закладів ФПО надала нові можливості як для вступників, так у для ЗВО в цілому. Найближчим часом НУК ім. адм. Макарова (стосовно ВСП ФКК) повинен вирішити ряд нагальних питань, а саме:

- активізувати роботу з ліцензування спеціальностей, особливо якщо є зацікавленість іноземних партнерів;
- розширити агітаційну роботу у школах та професійно-технічних закладах і співпрацю з директорами ПТЗО міста та області, Миколаївським обласним центром зайнятості;
- вимушений тотальний перехід на онлайн-освіту;

Перехід породив хвилю онлайн-курсів і для сучасної фахової передвищої освіти, хоча навчання у системі ФПО – це практична підготовка. Онлайн-технології мають величезний потенціал для розвитку освітнього процесу і можуть взяти на себе завдання по освоєнню теоретичних питань, необхідних для допуску до практики. Однак, є і складності – висока

вартість при неочевидній вигоді для закладу, тому необхідна кооперація як з роботодавцями, так і з ЗВО, нерозуміння керівництвом доцільності онлайн-технологій і тому, освітній заклад, який залишається на місці буде втрачати привабливість спочатку у роботодавців, а потім – у майбутніх абітурієнтів; неготовність системи освіти до дистанційного навчання, гострою проблемою є канали зв'язку і технічна забезпеченість учасників освітнього процесу, не готовий і контент, тому необхідна допомога «старших товаришів».

– розпочати роботу з акредитації;

Згідно Закону України «Про фахову передвищу освіту» акредитація освітньо-професійної програми – оцінювання освітньо-професійної програми та освітньої діяльності закладу фахової передвищої освіти за цією програмою на предмет забезпечення та вдосконалення якості фахової передвищої освіти [1].

Передбачається наступний орієнтовний порядок проведення акредитації (рис. 1) [2] з метою: встановлення відповідності якості ОПП та освітньої діяльності; допомогу закладам ФПО у визначенні сильних і слабких сторін, можливостей і загроз реалізації ОПП; надання зацікавленим сторонам інформації щодо якості ОПП та освітньої діяльності за цими програми; посилення довіри до фахової передвищої освіти в Україні; інтеграцію до освітнього простору.

– розвиток нових форм здобуття освіти (дуальна, навчання на виробництві);

Дуальна система відповідає інтересам закладів ФПО, підприємств, працівників, держави та дозволяє поєднати найсильнішу сторону коледжів – фундаментальну підготовку, та підприємств – практичну підготовку. Держава ж вирішує завдання підготовки кваліфікованих кадрів, здійснення досліджень, моніторинг якості, оновлення стандартів.



Рис. 1. Порядок проведення акредитації ОПП, за якими здійснюється підготовка здобувачів ФПО []

Заклади ФПО отримують можливість зв'язку із підприємствами, покращення матеріально-технічної бази, залучення практиків до педагогічної діяльності, підвищення кваліфікації викладацького складу, зростання престижу серед абітурієнтів. Заклади ФПО в умовах автономії повинні знайти кошти на свій розвиток, а нова форма навчання створює симбіоз між закладом і ринком для вирішення цього питання. Дуальна модель навчання виключає певний дисонанс між теорією і практикою навчання, студент на термін навчання стає співробітником компанії, яка може отримати готового співробітника, професійна адаптація відбувається під час навчання, а не після.

– підготовка до нової вступної компанії.

Стосовно майбутнього прийому до закладів ФПО на базі повної загальної середньої освіти та ОКР кваліфікований робітник слід виділити:

– вступні іспити проводяться у формі ЗНО або вступних іспитів (фахових вступних випробувань) на власний розсуд у будь-яких комбінаціях;

– у разі подання результатів ЗНО бал вступника за відповідне вступне випробування підвищується на 25 відсотків, що підвищує можливість вступу на місця державного замовлення;

– додається до 50 балів за успішне закінчення підготовчих курсів закладу освіти для вступу до нього;

– можливість безоплатно здобувати ФПО, якщо вступники не здобули фахову передвищу освіту або ОКР молодшого спеціаліста впродовж восьми попередніх років за кошти державного бюджету.

При вступі до ЗВО на скорочений термін молодших спеціалістів, бакалаврів і фахових молодших бакалаврів очікує вступ на основі двох сертифікатів ЗНО та фахового вступного випробування, тривалість навчання визначається стандартом спеціальності.

Література:

1. Про фахову передвищу освіту. Редакція від 02.10.2021. № 2745-VIII (2019).
2. Михнюк, С., Мунтян, І. (2021). Процедура акредитації освітньо-професійних програм у закладах фахової передвищої освіти // Фахова передвища освіта: сучасні виклики та перспективи розвитку: збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Житомир: «Полісся», 2021. – с. 100–102.

ISSUES OF PROFESSIONAL PRE-HIGH EDUCATION INSTITUTIONS ACTIVITY AT THE PRESENT STAGE

Ratushniak I.O.

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Operation of Ship Power Plants and Heat Power Engineering, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Marshak O.I.

Senior Lecturer Department of Information Control Systems and Technologies, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. The nowadays issues of the work of professional pre-high education institutions are considered, the main activity directions for successful work, accreditation and the introductory campaign of 2022 are outlined.

Keywords: professional pre-higher education, professional junior bachelor.

УДК 629.123

ДРУКОВАНИЙ РОБОЧИЙ ЗОШИТ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІН СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Шостак В.П.,

*кандидат технічних наук, професор кафедри
експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
shostakvolodymyr7@gmail.com*

Анотація. Наведені основні відомості про робочий зошит студента як особливий жанр навчальної літератури та зображено, як приклад, фрагмент такого зошита із навчально-наочного посібника для вивчення дисципліни "Системи суднових дизельних установок"

Ключові слова: робочий зошит, навчально-наочний посібник, суднова енергетика, система утилізації теплоти.

Значне підвищення з плином часу обсягу інформації про будь-яку галузь знань спонукає професорсько-викладацький склад впроваджувати все нові методи навчання та ще й таким чином, щоб у студента на наступив "колапс перевантаження", а саме навчання було легким і цікавим, а значить, і результативним. У цьому аспекті доречним, як ми вважаємо, може слугувати робочий зошит, у якому домінує ілюстративний матеріал: рисунки, схеми, таблиці тощо. При цьому не зайвим буде згадати вислів Антуана де Сент Екзюпері: "Ніяке словесне пояснення ніколи не замінить споглядання". Крім того, зазначимо, що вивчення практичних питань суднової енергетики врят чи можливе без ілюстративної основи.

Оскільки більша частина (до 80 %) інформації про навколишній світ надходить до нас через очі, то наявність систематизованих наочних даних по технічним об'єктам, до яких, зокрема, відносяться і суднові енергетичні установки, сприяє швидкому і якісному вивченню програмних питань навчальної дисципліни. Для передачі та засвоєння такої наочної інформації в навчальному процесі підходить робочий зошит – як навчально-наочний посібник.

Робочий зошит – це особливий жанр навчальної літератури. На його основі відбувається усвідомлення нового навчального матеріалу та формування практичних умінь, а також організація самостійної роботи студента, контроль його навчальних досягнень [1, 2]. Робочий зошит відрізняється від звичайного наявністю друкованої основи. У такому зошиті студент дописує, докреслює, добудовує та/або дорисовує безпосередньо на сторінках зошита й, при необхідності, на додаткових сторінках, що включаються до зошита. Друкована основа дає змогу студенту сконцентрувати свою увагу на сутності навчального матеріалу та заощаджує час на конспектування, полегшує сприймання матеріалу.

Робочий зошит у системі засобів навчання виконує певні дидактичні функції, є носієм інформації, сприяє у студентів формуванню системи знань, умінь і навичок. Загалом такий зошит – це робочий зошит-конспект, який у завершеному вигляді являє собою своєрідний каркас основних питань навчальної дисципліни у вигляді рисунків, малюнків, креслень, ескізів, формул, таблиць, стислих окремих текстів, який доповнений доробками й записами студента, зокрема відповідями на поставлені питання.

Є сенс надавати робочий зошит студенту на перших заняттях. Подальші записи стосовно кожного окремого питання здійснюються власноруч студентом. До цього конспекту заносяться відомості, одержані студентом на лекціях, практичних і лабораторних заняттях, консультаціях і, головне, в процесі його *самостійної роботи*. Доречно зошит пред'являти викладачеві протягом семестру для поточного контролю. Його зміст і словесний коментар окремих даних, за вказівкою викладача, *слугуватимуть для оцінки роботи студента на лекціях й практичних заняттях і для оцінки його самостійної роботи*. Наявний у студента персональний «Робочий зошит» у завершеному вигляді – база для заліку або для складання екзамену.

На рисунку зображено фрагмент із друкованого робочого зошита [3], на якому, крім схеми утилізації теплоти від малообертового двигуна (МОД) з утилізаційним гребним турбозубчастим агрегатом (УГТЗА), написано завдання та контрольне питання; для них передбачено "пусті" строчки. Наявність копірайту свідчить, що дана схема у відкритому друку відсутня, і вказує на її автора. У іншому випадку зазначається літературне джерело, де знаходиться інформація про наведений відповідний рисунок.

Осмислення студентом такого рисунку з виконанням завдання і відповіддю на питання – самостійно, чи з допомогою викладача, чи з використанням відповідного джерела – підстава для позитивної оцінки.

Описати основні фізичні процеси, що протікають у холодильнику стисненого повітря.

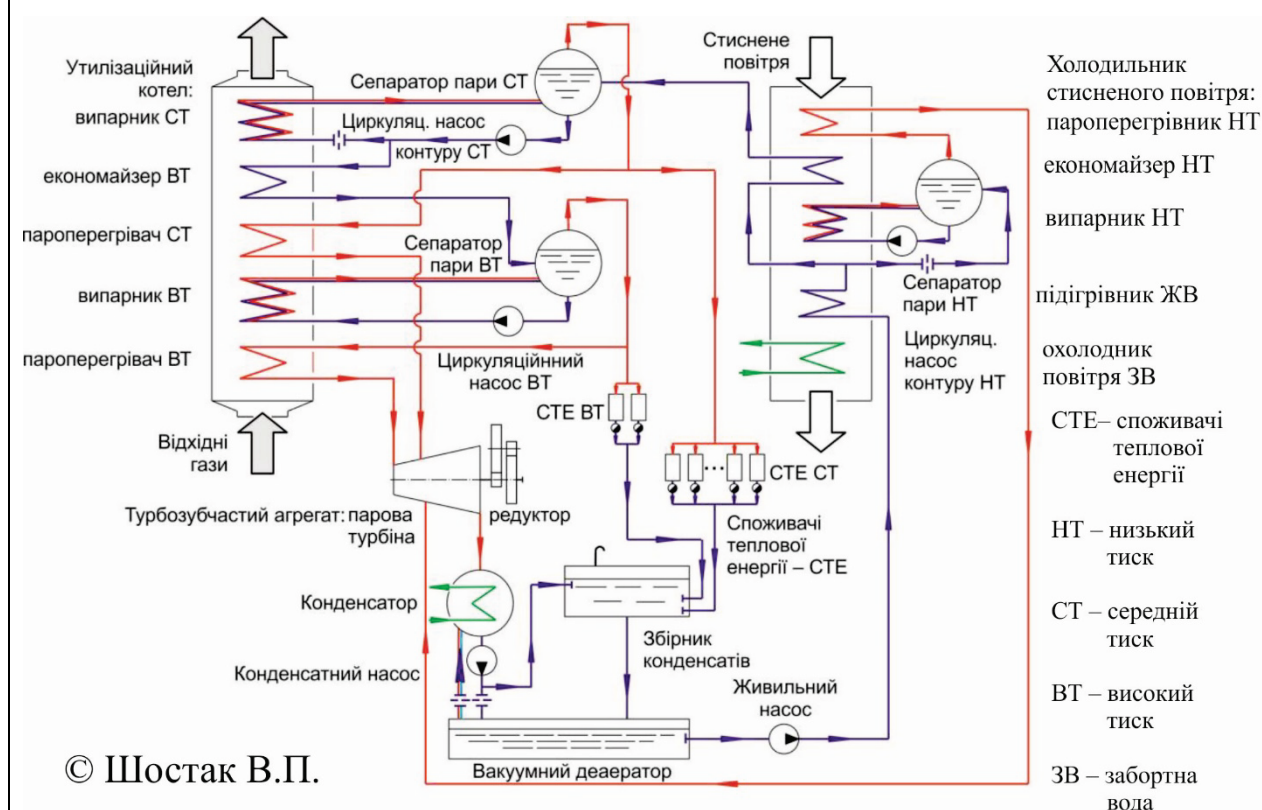


Рис. 3.43. Принципова схема суднової системи утилізації теплоти відхідних газів і стисненого наддувного повітря МОД з УГТЗА

Контрольне питання №1. Який основний споживач серед СТЕ ВТ?

Література

1. Голобкова, Г.И. Рабочая тетрадь как дидактическое средство / Г.И. Голобкова [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/23\(54\)/golobkova_23_54_333_339.pdf](https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/23(54)/golobkova_23_54_333_339.pdf)
2. Майорова, І.Г. Використання робочих зошитів як засіб підвищення ефективності професійної підготовки [Текст]: методичні рекомендації / І.Г. Майорова. – Донецьк: Університет менеджменту освіти, 2012. – 38 с.

3. Шостак. В.П. Системи суднових дизельних установок. Робочий зошит [Текст]: навчально-наочний посібник / В.П. Шостак, А.І. Кісарова. – Миколаїв: НУК, 2021. – 128 с.

PRINTED WORKBOOK FOR MARINE POWER ENGINEERING COURSE

Volodymyr P. Shostak,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. The basic information about the student's workbook as a special genre of educational literature is given and the fragment of such notebook from the «Ship diesel systems» textbook is presented.

Key words: workbook, educational and visual aid, marine power engineering, heat recovery system.

УДК 378.147

ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЙМІВ ПРИ ВИКЛАДАННІ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ ДЛЯ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКІВ

Мітенкова В. С.

*кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації
суднових енергетичних установок та теплоенергетики*

*Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

vera.mytenkova@nuos.edu.ua

Анотація. Обґрунтовано доцільність застосування фреймових структур під час навчання фахової іноземної мови для формування професійної картини світу. Наведено переваги та способи застосування фреймового підходу під час вивчення англійської. Представлено приклади семантичних фреймів, що використовуються під час підготовки майбутніх суднових електромеханіків в рамках вивчення англійської мови за професійним спрямуванням.

Ключові слова: англійська за професійним спрямуванням, лексичний запас, суднові електромеханіки, фахова термінологія, семантичні фрейми.

Загальновизнано, що термінологія будь-якої галузі знання або діяльності є головним засобом зберігання, обробки, трансляції та розвитку концептуальних парадигм у науці. Тому евристичний потенціал когнітивних термінів, їх місце в сучасному науковому знанні важко переоцінити. Евристична цінність когнітивних термінів полягає у встановленні зв'язків між поняттями різних наук та галузей знання. Систематизуюча функція – головна в ряду евристичних функцій терміну [1].

Опанування фахової лексики в рамках вивчення іноземної мови за професійним спрямуванням базується переважно на засвоєнні відповідних термінів із широким

використанням методів когнітивної лінгвістики, серед яких можна виділити фреймовий підхід. В результаті навчання у студентів має бути сформована відповідна «професійна картина світу» в рамках обраної спеціальності. Чернишова Л. А. дає таке визначення: *«Професійна картина світу – це змістовний інваріант наукового знання в визначеній спеціальній області діяльності людини. Професійна картина світу універсальна, оскільки об'єктивні самі наукові знання. Професійна картина світу, відображена засобами національної мови, – це професійна мовна картина світу»*. [2].

Розглянемо докладніше фреймовий підхід у викладанні англійської мови за професійним спрямуванням на прикладі суднових електромеханіків. Насамперед, фрейм – це один з різновидів концептів, а точніше концептуально-складних форматів знання, що традиційно називають концептуальними структурами. Також Болдирев М. М. зазначає, що на відміну від загального терміна *«концепт»*, що може виражати будь-яку одиницю знання, в тому числі неструктуровану, загальний термін *«фрейм»* використовується лише для позначення структурованих концептів (власне фреймів, сценаріїв, схем, когнітивних моделей). Іншими словами, автор акцентує увагу на тому, що фрейм – це завжди структурована одиниця знання, у якій виділяють окремі компоненти і відношення між ними [3]. Все це робить фреймовий підхід ефективним засобом навчання спеціальної лексики, її упорядкування, оскільки структурованість є однією з головних ознак будь якого наукового знання.

Підготовка суднових механіків в НУК здійснюється в рамках спеціалізації «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт». Однією із загальних компетенцій для випускників цієї спеціальності, що визначена стандартом вищої освіти, є *«Здатність використовувати англійську мову у письмовій та усній формі, у тому числі при виконанні професійних обов'язків»*. В свою чергу, опис професійних обов'язків наведено у вигляді спеціальних компетентностей та результатів навчання окремо для кожної спеціалізації 271 спеціальності [4].

Представлення і структурування основних понять з фахової області «Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики» на заняттях з англійської мови за професійним спрямуванням у вигляді семантичних фреймів, на наш погляд, є ефективним способом розвитку логічного мислення, поповнення іншомовного лексичного запасу та структурування спеціальних знань у студентів. Причому цей підхід є доцільним не тільки під час презентації нової теми викладачем, який при цьому безпосередньо створює фрейми, але і в якості самостійних завдань для групової або індивідуальної роботи студентів при опрацюванні фахових текстів та аудіо/відеоматеріалів. В останньому випадку, створення фреймів самостійно із подальшою перевіркою та порівнянням з аналогічною активністю

інших студентів або навчальних груп значно підвищує ступінь занурення у навчальні матеріали та рівень засвоєння нової фахової лексики.

Приклади семантичних фреймів, що застосовуються в рамках курсу англійської мови за професійним спрямуванням для підготовки майбутніх електромеханіків, представлено на рис. 1. Перший фрейм (рис. 1а) корисний для опанування базових термінів електричної інженерії і створення у студентів уявлення про цю галузь, її напрями та їх предметне наповнення. Фрейм з рис. 1б студенти розроблюють під за участю викладача після перегляду відео матеріалу в рамках вивчення теми «Суднові електричні трансформатори».

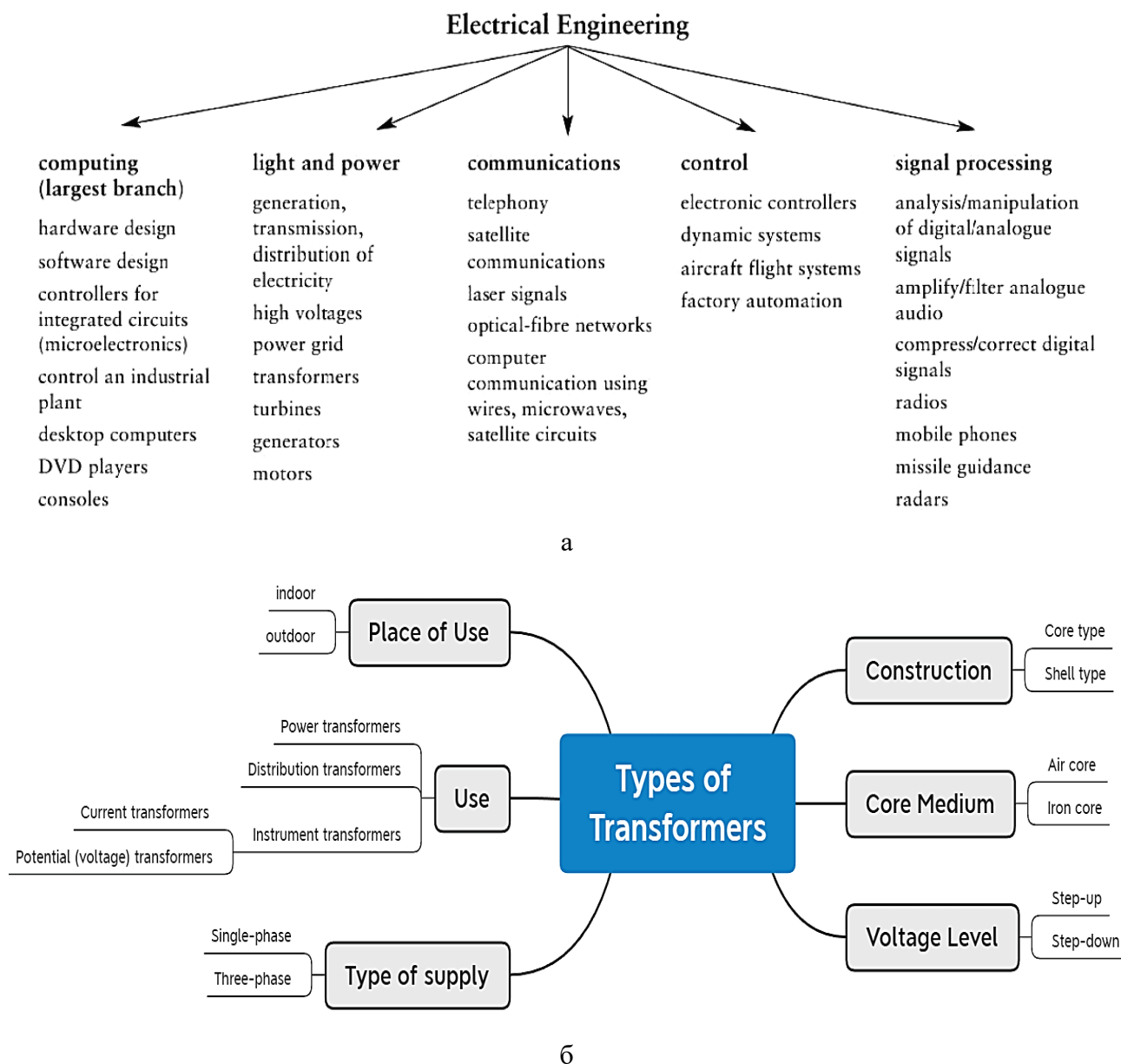


Рис. 1 Приклади семантичних англomовних фреймів для суднових електромеханіків:
 а – фрейм «Галузі електричної інженерії»;
 б – фрейм «Типи трансформаторів»

Література:

1. Голованова Е. И. Введение в когнитивное терминоведение: учеб. пособие / Е. И. Голованова. – М.: ФЛИНТА: Наука, 2011. – 224 с.
2. Чернышова Л. А. Отраслевая терминология в свете антропоцентрической парадигмы: Монография / Л. А. Чернышова. – М.: Изд-во МГОУ, 2010. – 206 с.
3. Болдырев Н. Н. Когнитивная семантика. Введение в когнитивную лингвистику: курс лекций / Н.Н. Болдырев. – Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2014. – 236 с.
4. Стандарт вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. Галузь знань 27. Транспорт. Спеціальність 271. Річковий та морський транспорт. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/271-richkoviy-ta-morskiy-transport-bakalavr.pdf>

USE OF FRAMES IN TEACHING OF ENGLISH FOR PROFESSIONAL PURPOSES FOR SHIP ELECTRICAL ENGINEER OFFICERS

Mitienkova V. S., PhD, Assoc. Prof

Department of Ship Power Plants Operation & Heat-power Engineering

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The expediency of using frame structures during the teaching of a professional foreign language to form of a professional picture of the world is substantiated. The advantages and methods of applying the frame approach during learning English are given. Examples of semantic frames used in the training of future ship electrical engineer officers in the study of English for professional purposes are presented.

Keywords: English for professional purposes, vocabulary, ship electrical engineer officers, professional terminology, semantic frames.

УДК 347.79

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСВОЄННЯ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ МОРСЬКИХ КОНВЕНЦІЙ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Горбов В. М.

*кандидат технічних наук, професор
завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних
установок та теплоенергетики
viktor.gorbov@nuos.edu.ua*

Горбова Г.О.

*кандидат юридичних наук
доцент кафедри теорії та історії держави і права
gorbovaann@gmail.com*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Наведено обґрунтування необхідності безумовного глибокого володіння студентами і курсантами, що проходять підготовку за освітньо-професійною програмою "Управління судновими системами та комплексами", основними положеннями Морських Міжнародних конвенцій ПДНВ-1978 та MLC-2006. Розглянуто зміст та основні методологічні особливості навчального посібника, розробленого авторами для досягнення більшої ефективності при роботі студентів над матеріалами конвенцій, а також над механізмом їх практичного втілення.

Ключові слова: безпека мореплавання, морські конвенції, стандарти підготовки моряків, умови праці на судні.

За останні роки у світі суттєво збільшилась інтенсивність морських перевезень, як вантажних, так і пасажирських, завдяки чому підвищилось екологічне навантаження на навколишнє середовище з боку суден та засобів океанотехніки. Проблемою зниження шкідливих викидів з суден та підвищення безпеки мореплавання постійно опікується Міжнародна морська організація (ІМО) шляхом розробки, затвердження, безумовного втілення у повсякденну морську практику експлуатації суден та постійної роботи над удосконаленням різних видів нормативних матеріалів, що регламентують різнопланові аспекти морської діяльності.

Серед різноманіття таких матеріалів особливе місце обіймають Міжнародні морські конвенції, серед яких виділяють чотири основоположних (фундаментальних) Конвенції:

- Конвенція MARPOL-73/78
- Конвенція SOLAS-74
- Конвенція STCW-1978
- Конвенція MLC-2006.

З цих чотирьох Конвенцій, які є наріжним каменем забезпечення безпеки мореплавання, особливе місце у боротьбі з поширеним на суднах "human factor", як

причиною виникнення аварійних ситуацій та викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище – як у водній простір, так і в атмосферу, обіймають останні дві.

Все більш складним стає обладнання, яким облаштовуються судна: енергетичне, технологічне, призначене для виконання різноманітних спеціальних функцій. Таке обладнання потребує як загальної підготовки у сфері відповідного функціонування морського персоналу, так і знань, умінь та навичок роботи з відповідними технічними засобами та комплексами. Ці вимоги наведені у Міжнародній конвенції з дипломування моряків та несення вахти 1978 року (з манільськими поправками). Відсутність необхідної підготовки або нехтування положеннями існуючих стандартів стосовно відповідної професійної діяльності може привести до жахливих наслідків. Чого варта, наприклад, безглузда за причиною виникнення, та катастрофічна за наслідками (із загибеллю пасажирів та тяжким травмуванням) аварія круїзного судна "Costa Concordia", яка сталася у прибережній зоні Італії п'ять років тому.

Тому так важливо для персоналу морських суден повністю відповідати всім стандартам і вимогам, які надаються представникам тих чи інших судових професій. Постійно потрібно пам'ятати, що морське судно – це засіб підвищеної небезпеки, незважаючи на відносно низьку (порівняно з наземним та повітряним транспортом) швидкість та безмежність океанських водних просторів.

До особливостей морської професії відносяться виконання морським персоналом своїх виробничих обов'язків на значному віддаленні від дому, постійне перебування в умовах обмеженого простору, обмеженої кількості людей для спілкування, не завжди житлові умови та умови і якість харчування відповідають існуючим нормам, і що немаловажно, робота на судні пов'язана з можливим перебуванням в умовах стихійного впливу тайфунів, циклонів, океанських хвиль.

Те, у яких умовах відбувається робота на морському судні, здійснює вплив на психологічний та моральний стан членів екіпажу. що безумовно, може привести до негативного прояву "Human factor".

Все вищеперелічене є об'єктом розгляду та нормування Міжнародної конвенції про працю в морському судноплавстві MLC-2006, яка охоплює всі сучасні норми діючих міжнародних конвенцій про працю в морській індустрії, встановлює стандартне закріплення гідних умов праці та відпочинку моряків на борту судна.

Вважаючи на необхідність безумовного та глибокого володіння основними положеннями розглянутих Міжнародних конвенцій, безпосередньо пов'язаних з персоналом морських суден, супроводжуючи його дії як на стадії підготовки до роботи на судні, так і

весь час його перебування на борту, та з метою полегшення роботи по їх засвоєнню, кафедрою експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики НУК був розроблений навчальний посібник "Стандарти компетентності персоналу морських суден та захист його прав" (автори В.М. Горбов, І.О. Ратушняк, Г.О. Горбова).

У навчальному посібнику детально розглянуті основні положення двох Міжнародних морських конвенцій: Конвенція з підготовки моряків, дипломування та несення вахти (ПДНВ-78) та Конвенція про працю в морському судноплавстві (MLC-2006). Поєднання саме цих Конвенцій в єдиному посібнику обґрунтовано тим, що вони обидві пов'язані з персоналом морських суден. Перша з них обумовлює вимоги і нормативи підготовки і дипломування моряків, а друга регламентує мінімальні вимоги до умов розміщення моряків при роботі на судні, до відпочинку та прийому їжі, до соціальної захищеності, що забезпечує підняття положення моряків на судні до загальносвітових стандартів, безумовне поліпшення умов праці та відпочинку. Як результат – підвищення рівня мотивації для моряків та підвищення експлуатаційної безпеки суден.

Матеріал навчального посібника надає повне уявлення про ті вимоги, які у вигляді сукупності компетенцій надаються до моряків, що претендують на заняття на судні практично будь-якої посади у палубній та машинній команді.

У даному виданні враховані також персональні вимоги, які надаються до персоналу спеціальних суден: великогабаритних, наливних із шкідливими вантажами, таких що експлуатуються у полярних водах, та розглядаються особливості експлуатації.

У другій частині навчального посібника, присвяченій Конвенції MLC-2006 детально розглянуті обов'язкові положення, виконання яких забезпечує нормативне закріплення гідних умов праці та відпочинку моряків на борту судна.

Для зручності роботи з навчальним посібником, у Додатку наведені тестові завдання для самостійної підготовки, стосовно кожної із Конвенцій, що розглядаються. Ці завдання дозволяють студенту здійснювати самоконтроль за засвоєнням змісту та механізму застосування цих важливих нормативних документів.

Навчальний посібник, на наш погляд, безумовно сприятиме більш ефективному засвоєнню студентами і курсантами, що вивчають дисципліну "Міжнародні морські конвенції" у процесі проходження підготовки за освітньою програмою "Управління судновими системами та комплексами" спеціальності "Морський та річковий транспорт" життєво важливих для їх подальшої професійної діяльності матеріалів, оснований на розглянутих вище морських конвенціях.

УДК 629.5

ЗАСТОСУВАННЯ ON-LINE ПРОГРАМ CEAS ENGINE CALCULATIONS ТА GTD2 ПРИ МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ В СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

Остапенко І.О., Коцюр М.М., Ротар С.В.

студенти магістратури

Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

Чередніченко О.К.

доктор техн. наук, професор кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Анотація. Наведені результати моделювання процесів в суднових енергетичних установках із застосуванням on-line програм CEAS ENGINE CALCULATIONS і GTD2. Результати досліджень можуть бути використані при концептуальному проектуванні енергетичних установок сучасних суден.

Ключові слова: енергетична установка, ефективність, математичне моделювання

Розробка рекомендацій з енергоефективності суднових енергетичних установок пов'язана з пріоритетністю питань боротьби із забрудненням навколишнього середовища морським транспортом [1]. В даний час вимоги щодо визначення індексу енергоефективності EEDI поширюються на оснащені конвенційними пропульсивними установками балкери, газовози, танкери, контейнеровози, універсальні судна для перевезення генеральних вантажів, судна Ro-ro, пасажирські судна. Під конвенційними розуміються дизель-механічні енергетичні установки. Як виняток, вимоги та рекомендації ІМО для визначення EEDI поширюються на круїзні пасажирські судна, які оснащені дизель-електричними, турбінними і комбінованими установками, а також газовози LNG з дизель-електричними та паротурбінними пропульсивними установками. Слід припустити, що в подальшому вимоги ІМО з енергоефективності будуть поширені, тому завдання створення перспективних типів енергетичних установок з використанням альтернативних палив є актуальним.

Провідні виробники суднових малообертових дизельних двигунів адаптували свою продукцію для роботи на метані та інших альтернативних видах палива. Цікавим є аналіз впливу режиму роботи на ефективність пропульсивних енергокомплексів з малообертовими двопаливними головними двигунами.

Дослідження проводилося методами математичного моделювання. Математична модель суднової енергетичної установки з системою утилізації вторинних енергоресурсів представляє систему з двох основних взаємопов'язаних компонентів [2]:

- енергетичний блок, в якому хімічна енергія палива перетворюється в механічну, електричну і теплову енергії;
- блок утилізації тепла, призначений для перетворення теплоти вторинних енергоресурсів енергетичного блоку в механічну, електричну і теплову енергії.

Зв'язок між елементами блоків здійснюється потоками енергоносіїв (теплоносіїв і робочих тіл циклів), за допомогою яких здійснюються процеси енергетичної взаємодії між блоками і в цілому в енергетичній установці.

При математичному моделюванні процесів в енергетичній підсистемі основними параметрами є тиск, температура і витрата робочих середовищ та вторинних енергоресурсів. На офіційних сайтах виробників суднових малообертових двигунів внутрішнього згорання є спеціальні програмні продукти, які дозволяють визначити питому витрату палива, кількість і температуру газів, що відходять за двигуном, а також тепловий баланс двигуна в залежності від ступеня його навантаження і параметрів навколишнього середовища. При подальшому дослідженні для двигунів MAN Energy Solutions використовувалася on-line програма CEAS Engine Calculations, для двигунів WinGD програма GTD 2.

Математичне моделювання процесів в енергетичних установках дозволило провести зіставлення значень конструктивного індексу енергетичної ефективності судна EEDI для перспективних схем і базового варіанту.

Література

1. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. – 2016. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/M2%20EE%20regulations%20and%20guidelines%20final.pdf>. (дата звернення 06.10.2021).
2. Чередниченко, А.К. Моделирование энергокомплексов с термохимической регенерацией тепла для судов-газовозов [Текст] / А. К. Чередниченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – № 2. – С. 36–41. ISSN 1727-0219.

APPLICATION OF ON-LINE PROGRAMS “CEAS ENGINE CALCULATIONS” AND “GTD2” IN MATHEMATICAL SIMULATION OF PROCESSES IN SHIP POWER PLANTS

Ostapenko I.O., Kotsur M.M., Rotar S.V., Cherednichenko O.K.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. This article discusses efficiency of ship power plant. Some results of research have been shown. The results of research may be used in the development of ship power plants..

Keywords: power plant, efficiency, mathematical modeling

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА: СТАН ТА ПРОБЛЕМИ

4–5 листопада 2021 року

Відповідальний за випуск В.М. Горбов

Макетування Т.М. Чередніченко

Підписано до друку 26.10.2021. Формат 60х84/8.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Цифровий друк. Умовно-друк. арк. 00,00. Тираж 000. Замовлення № 0000-000.

Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавничий дім «Гельветика»

54000, м. Миколаїв, пр. Героїв України, 9, оф. 551

Телефон +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.

[illegible]