

PZEM-015 для фіксації та обліку витраченої потужності електричним двигуном. Проведені попередні випробування та побудовані залежності моменту опору та потужності механічних втрат двигуна DLE-360.

### Література

1. Дьяченко В. Г. Теорія двигунів внутрішнього згорання.. Харків : ХНАДУ, 2009. 500 с.
2. Абрамчук, Ф.І. Експериментальне дослідження механічних втрат у мікролітражному чотиритактному двигуні / Ф.І. Абрамчук, А.П. Кузьменко // Автомобільний транспорт : зб. наук. пр. – Харків, 2019. – Вип. 45. – С. 5-11
3. Парсаданов І.В. Багатофакторний аналіз механічних втрат у швидкохідному дизелі з газотурбінним наддувом. / І.В. Парсаданов. С.Ю. Білик //Науково-технічний журнал. Двигуни внутрішнього згорання. Харків, НТУ "ХПІ" 2008, № 1. С. 34-37.

УДК 629.5.03:62-8+629.5.078:656.075

## ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ СУДНОВИХ ТЕПЛОБМІННИХ АПАРАТІВ В СИСТЕМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

**Грицук Ігор Валерійович**, докт. техн. наук, професор, кафедра автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний Університет «Чернігівська політехніка», e-mail: gritsuk\_iv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-7065-6820

**Погорлецький Дмитро Сергійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, e-mail: dimon150582@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1256-8053>

**Дзигар Анатолій Костянтинівич**, старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія, e-mail: anatoliidzygar@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5947-6263>,

**Задорожний Володимир Костянтинівич**, магістр, Херсонська державна морська академія, e-mail: zadorozhnii.volodymyr.mmm@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0118-1654>,

**Довбня Павло Юрійович**, магістр, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайський навчально-науковий інститут, e-mail: anatoliidzygar@gmail.com

**Гаврилюк Владіслав Віталійович**, магістр, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайський навчально-науковий інститут, e-mail: anatoliidzygar@gmail.com

Актуальність теми роботи Одним із шляхів вдосконалення суднових та транспортних енергетичних установок є підвищення ефективності у процесах

перетворення теплової енергії в їхніх елементах [1]. Ці процеси підпорядковуються законам термодинаміки, гідрогазодинаміки та тепломасообміну і визначають ефективний коефіцієнт корисної дії установок, рівень теплових викидів та шкідливих викидів у відпрацьованих газах, ресурс та компактність й досконалість систем [2]. Значний вплив на зазначені показники мають теплообмінні апарати, які є невід'ємними елементами енергетичних установок [3].

Відомо, що техніко-економічні показники теплових енергетичних установок в значному визначаються параметрами теплового обладнання і теплообмінників. Необхідність удосконалення обладнання суднових енергетичних установок та зростання масових і габаритних показників теплових і теплообмінних апаратів визначають практичний запит на розробку, удосконалення і впровадження науково-технічних розробок і рішень для інтенсифікації процесів конвективного теплообміну [4]. Це спрямовано на комплексне покращення економічних, екологічних, ресурсних і масогабаритних характеристик обладнання, а також на зменшення витрати палива і теплових та шкідливих викидів.

Метою дослідження є обґрунтування особливостей оцінювання стану суднових теплообмінних апаратів у системі експлуатації на основі технології цифрових двійників суднової енергетичної установки.

Об'єктом дослідження є суднова енергетична установка вантажного судна.

Предметом дослідження є оцінювання стану суднових теплообмінних апаратів в системі експлуатації вантажного судна.

В роботі для оцінювання параметрів технічного стану суднових теплообмінних апаратів в системі експлуатації на основі технології цифрових двійників інформаційна система повинна була адаптована в умовах експлуатації на сталу роботу з отримання поточних даних. Аналітична складова системи за технологією цифрових двійників призначена для оцінки всіх граничних значень, формування раціональних і оптимальних характеристик та прогнозування значень параметрів технічного стану суднових теплообмінних апаратів в системі експлуатації та забезпечення взаємодії з іншими системами транспортного судна і суднової енергетичної установки. Також, аналітична складова системи виконує дії для розрахунково-аналітичного формування відповідної складової виконання сталого контролю і, в цілому для забезпечення технічного стану вантажного транспортного судна, його енергетичної установки та в окремих складових, компонентах, механізмах і системах при відтворенні процесів забезпечення всіх складових ефективностей експлуатації, проведення технічних обслуговувань та в частині використання палива, технологічних рідин, витратних матеріалів, запчастин тощо [3].

Цільовою функцією дослідження ( $Q_{i\Sigma}(t)$ ), а саме процесів підвищення ефективностей експлуатації ( $Q(P_{esmpi}(t))$ ), проведення технічних обслуговувань ( $Q(E_{mcosmpi}(t))$ ) та в частині використання палива, технологічних рідин, витратних матеріалів, запчастин в умовах експлуатації ( $Q(E_{uffjcsi}(t))$ ), буде вважатись

поєднання як об'єктивних так і суб'єктивних експлуатаційних факторів експлуатації суднових теплообмінних апаратів в системі експлуатації на основі технології цифрових двійників. Це забезпечує забезпечують працездатність всієї енергетичної системи судна і суднової енергетичної установки саме через мінімальне значення витрати палива ( $G_{Pt}$ ). Об'єктивні фактори залежать від особливостей теплообмінників в частині: конструктивного виконання, площ теплообміну (кількості і якості пластин теплообмінника), витрату теплоносіїв (масову витрату в об'ємну витрату), коефіцієнтів тепловіддачі, товщини забруднення пластинчастого теплообмінника, швидкості теплообміну тощо. Суб'єктивні фактори системи залежать від технічного стану обладнання суднових теплообмінних апаратів, суднової енергетичної установки і судна, взагалі, і режимів управління, експлуатації, технічного обслуговування тощо. Крім цього функція повинна забезпечувати поєднання з іншими частинами запропонованого підходу.

Запропоновану функцію дослідження можливо представити у вигляді:

$$\begin{cases} Q_{i\Sigma}(t) = \Sigma(Q(P_{esmpi}(t)) + Q(E_{mcosmpi}(t)) + Q(E_{ufpfcsi}(t))) \rightarrow \max \\ Q(P_{esmpi}(t)) = F(F_{SMlsp}, DR_{Li}, S_{OSPP}, P_{DUi}) \rightarrow \max \\ Q(E_{mcosmpi}(t)) = F(F_{SMlsp}, S_{OSPP}) \rightarrow \max \\ Q(E_{ufpfcsi}(t)) = F(F_{SMlsp}, DR_{Li}, S_{OSPP}, P_{DUi}) \rightarrow \max \\ G_{Pt} \rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

Особливістю запропонованої функції є те, що при її реалізації одночасно вирішується мінімалістична і максималістична тобто мінімаксна задача. Вирішуються одночасно така задача: забезпечення технічного стану  $Q_{i\Sigma}(t)$  вантажного транспортного судна, його енергетичної установки та в окремих складових, компонентах, механізмах і системах при відтворенні процесів гарантування ефективності експлуатації, проведення технічних обслуговувань та в частині використання палива, технологічних рідин, витратних матеріалів, запчастин тощо прагне досягти максимуму, при тому, що  $G_{Pt}$  прагне досягти мінімально можливих значень. При урахуванні факторів, що впливають на досягнення вказаних параметрів, можливо виділити конструкційні фактори і особливості вантажного транспортного судна, його енергетичної установки та в окремих складових, компонентах, механізмах і системах, їх технічний стан, фактичні умови експлуатації і режими управління (обслуговування і ремонту). Для використання в дослідженні методів і засобів дистанційного моніторингу планується виконати також аналіз особливостей його реалізації та дистанційного контролю параметрів технічного стану й визначення критеріїв покращення реалізації поставлених завдань в частині самих теплообмінних апаратів в умовах експлуатації засобами оперативного контролю на основі інтелектуальних і комунікаційних технологій. Процес оцінювання і прогнозування параметрів працездатності і технічного стану суднових теплообмінних апаратів в системі їх експлуатації на основі технології цифрових

двійників інформаційна система передбачає уточнення інформації про фактичний технічний стан судових теплообмінних апаратів, методи й засоби їх оцінювання і прогнозування параметрів працездатності, про перспективи їх застосування при зміні умов експлуатації тощо.

В роботі об'єктом досліджень була суднова енергетична установка судна-танкера «Sti Fulham» (номер ІМО 9688374, номер ММСІ 538005400), яке призначено для перевезення нафти та хімікатів [5]. Суднова енергетична установка включає головний двигун 6S50ME-B. Досліджувані теплообмінні апарати судової енергетичної установки розглядалися для центральної системи охолодження головного судового двигуна [6].

Для запобігання занадто високої температури охолоджуючого середовища повітроохолоджувача головного двигуна, розрахункова температура охолоджуючої води центральної системи охолоджуючої води повинна бути не вище 36 °С. Це відповідає найвищій температурі для забортної морської води + 32 °С [5, 6].

За рекомендаціями виробників [5, 6] для збереження сталої температури охолоджуючої води на вході в повітроохолоджувачі головного двигуна потрібно забезпечувати застосування як тільки максимально можливо нижчої температури рідини в центральній системі охолодження. Це означає, що температура охолоджуючої води системи на центральному регулюючому клапані повинна бути встановлена на мінімум 10 °С нижче від температури забортної морської води [5]. Тобто різниця температур не повинна перевищувати + 10 °С. При цьому виробник для всіх трубопроводів системи охолодження встановлює максимальні швидкості охолоджуючої води системи ~3,0 м / с.

Для реалізації функціоналу дослідження (1) дослідження проводилися за 3 послідовними взаємопов'язаними етапами на створеній математичній моделі на основі технології цифрових двійників. Для дослідження спроможності пластинчастого теплообмінника центральної системи охолодження забезпечити експлуатацію головного двигуна судової енергетичної установки для складних (змінних) умов експлуатації судна, а саме при переході в районах плавання (для прикладу): Північне море – Арабські Емірати, Перська затока. В такому випадку температура забортної води змінюється в діапазоні від + 15 °С взимку до + 36 °С влітку (1-й етап). При цьому досліджувалися граничні температури в центральній системі і вплив на її забезпечення конструктивних особливостей судового пластинчастого теплообмінника (2-й етап дослідження). Крім цього, проводилось дослідження можливого засмічення системи в зоні теплообмінника і пошук шляхів забезпечення роботи пластинчастого теплообмінника при можливому забрудненні (3-й етап дослідження) [5, 6].

На рис. 1 наведені апроксимуючі рівняння для кожного варіанту дослідження для прогнозування можливих результатів в умовах експлуатації теплообмінного обладнання. З результатів розрахункового дослідження видно, що підвищення температури води забортної морської при вході в теплообмінник призводить до істотних наслідків [3, 5, 6]. У результаті

підвищення температури забортної води лише на 3,5 °С призводить найбільших витрат теплоносіїв (рис. 1).

## Висновки

Обґрунтовані особливості оцінювання стану суднових теплообмінних апаратів у системі експлуатації на основі технології цифрових двійників вантажного судна і суднової енергетичної установки.

Розроблена інформаційна система в реалізації задач дослідження, що дозволяє надалі досліджувати укрупненою моделлю представлення цифрового двійника інтелектуальної системи управління експлуатацією вантажного судна та суднової енергетичної установки.

Обґрунтовані реалізації досліджуваного застосування в частині практичних методів формування цифрового двійника для представлення результатів роботи теплообмінного обладнання судна в реальних умовах експлуатації.

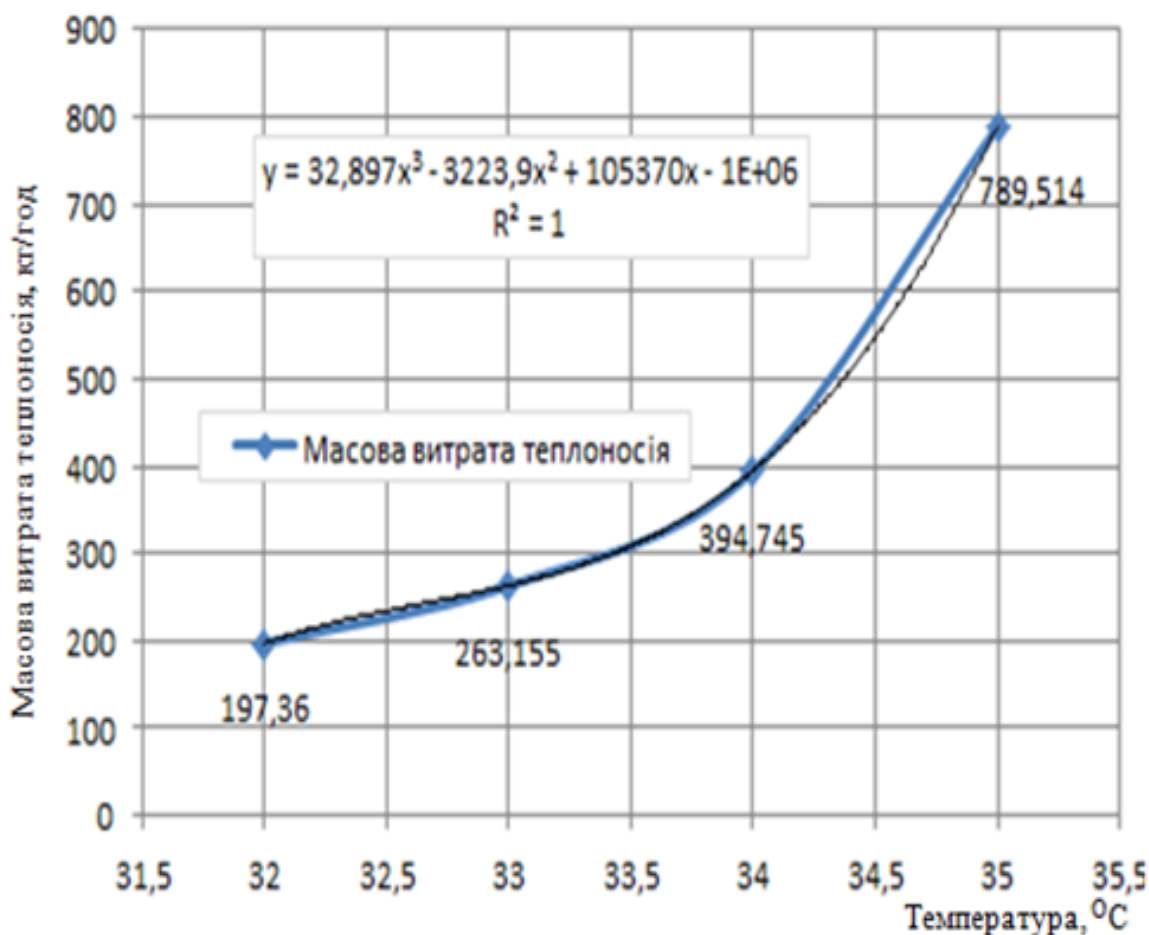


Рисунок 1 – Результати розрахункового дослідження суднового пластинчастого теплообмінника в частині зміни масової витрати теплоносія

## Література

1. Zohuri B. Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation. Switzerland: Springer International Publishing. 2017. 559 p. DOI: 10.1007/978-3-319-29835-1

2. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Aleksandrov, V., Prilepsky, Y. et al., "Features of Modeling Thermal Development Processes of the Vehicle Engine Based on Phase-Transitional Thermal Accumulators," SAE Technical Paper 2019-01-0906, 2019, <https://doi.org/10.4271/2019-01-0906>.
3. Інноваційне теплообмінне обладнання [Текст] : монографія / І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 140 с.: іл. – Бібліогр.: с. 130–137.
4. Vychuzhanin, V., Rudnichenko, N., Shybaiev, D., Gritsuk, I. et al., "Cognitive Model of the Internal Combustion Engine," SAE Technical Paper 2018-01-1738, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>.
5. STI FULHAM / <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9688374>.
6. MAN B&W S50ME-B9.3-ТII. IMO Tier II. Project Guide. –2014 - 302 с.

УДК 621.436

## АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ В УМОВАХ ГАРМОНІЗАЦІЇ СТАНДАРТІВ

**Грицюк Олександр Васильович**, докт.техн.наук, проф., професор каф. ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [dthkbd@ukr.net](mailto:dthkbd@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0002-5596-6254>

**Цюман Микола Павлович**, канд.техн.наук, професор, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, м. Київ, e-mail: [tsuman@ukr.net](mailto:tsuman@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-2537-8010>

**Нікітченко Ігор Миколайович**, канд.техн.наук, доцент, завідувач кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [igor.nikitchenko@gmail.com](mailto:igor.nikitchenko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9481-4296>

**Кас'яненко Олександр Сергійович**, здобувач магістратури каф.ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [kasuanenko.sasha2002@gmail.com](mailto:kasuanenko.sasha2002@gmail.com).

Основні показники двигунів внутрішнього згоряння мають багато найменувань, але споживача автомобіля зазвичай цікавить один параметр двигуна, а саме його максимальна потужність. Якщо орієнтуватись на рядового споживача, то чи може він собі уявити, що у базовому міжнародному стандарті ISO 15550:2002 [1] задекларовано біля десятка визначень максимальних потужностей ДВЗ різного призначення. Тільки щодо автомобільних двигунів до них відносяться:

- 1) заявлена потужність на колінчастому валу;
- 2) гальмівна потужність;
- 3) індикаторна потужність;
- 4) чиста потужність двигуна (відповідно до ISO 1585, ISO 2288, ISO 8665, ISO 9249, ISO 4106);
- 5) валова потужність двигуна (відповідно до ISO 2534);
- 6) потужність двигуна (відповідно до ISO 14396).