

**Р.А. Варбанець, В.І. Залож, Т.В. Тарасенко, В.І. Кирнац, В.Г. Клименко,  
Н.І. Александровська**

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ DEPAS D4.0H ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУДЕН ВНУТРІШНЬОГО ПЛАВАННЯ

Одним з найбільш гострих тематичних напрямів при обговоренні на міжнародних форумах різних рівнів є питання покращення екологічних характеристик та підвищення енергоефективності роботи суден торговельного флоту як у міжнародному морському, так й у внутрішньому суднопластві. У даній статті розглянуті результати практичного застосування аналітичних методів обробки даних індиціювання судових двигунів внутрішнього згорання дунайського буксира-штовхача в умовах експлуатації, а також деякі аспекти застосування результатів аналітичної синхронізації отриманих даних для подальшого обґрунтування оптимальних режимів експлуатації таких суден. Результати застосовані для визначення можливого діапазону варіювання показників енергоефективності та екологічності. При визначенні індексів енергоефективності враховуються різні форми караванів, що буксируються штовхачем, та які найчастіше працюють у дунайському суднопластві. Також зроблено подальші кроки для обґрунтування концепції пріоритетності діагностування та оптимізації роботи двигунів існуючих суден у порівнянні з реалізацією проектів інноваційних суден. Безумовно, впровадження нових проектів теоретично призведе до більш швидкого досягнення цілей низки європейських проектів (зокрема GRENDEL – Green and Efficient Danube Fleet, European Green Deal concept тощо) досягнення нульової емісії, але будь-які новітні проекти є значно більш коштовними, ніж будь-які модернізації та оптимізації режимів руху суден, які вже є у складі дунайського флоту та які успішно працюють з непоганими економічними результатами. У даному контексті проекти інноваційних суден не є привабливими для судновласників та інших учасників ринку дунайських перевезень. Необхідність залучення додаткових інвестицій, брак коштів, падіння ринку в умовах пандемічних обмежень, фактична втрата бізнес-позицій невеликих судновласників – все це є факторами, які унеможливають широке застосування інноваційних розробок та рішень з повного оновлення дунайського флоту судновласниками. Тому на сьогодні залишається актуальним пошук способів підвищення енергоефективності існуючого флоту, що також призведе до покращення екологічних показників роботи внутрішнього водного транспорту.

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

### Вступ

Сучасні реалії ринку морських та внутрішніх перевезень пов'язані з низкою негативних факторів, які значно вплинули на спроможність учасників процесу інвестувати в оновлення та модернізацію складу свого флоту, впровадження інноваційних проектів та рішень, метою яких є значне прискорення термінів досягнення так званого рівня *zero emission* – нульової емісії шкідливих викидів до атмосфери від роботи суден торговельного флоту як на морських, так й на внутрішніх водних шляхах. На даний час існують такі розробки та новітні рішення зокрема й для дунайського суднопластва. Але насамперед можливість практичної реалізації навіть точкового, не масштабного, оновлення складу флоту оцінюється будь-яким судновласником з позицій економіки перевезень, потрібної суми інвестування, термінів окупності, потужності та/або кількості отриманого тоннажу тощо. Результати одного з нещодавно завершених європейських проектів GRENDEL [2] (*Green and Efficient Danube Fleet*), якій повністю відповідав концепції *European Green Deal*, свідчать про те, що основна думка сконцентрована навколо якомога швидшого досягнення мети – повного позбавлення шкідливих викидів від роботи суден. Успішному

проектуванню та навіть одиничній реалізації таких інноваційних проектів сприяє їх фінансування Європейським Союзом. При цьому дійсно складається враження, що єдине рішення – це впровадження цих передових проектів у реальні умови та повне позбавлення емісії. Але якщо розглядати дану проблематику з позицій судновласників, які в умовах пандемічних обмежень, падіння ринку перевезень та зменшення фрахтових ставок іноді значно обмежені в фінансуванні навіть поточного ремонту та технічного обслуговування існуючого флоту – стає зрозуміло, що до появи механізмів їх державної підтримки це не виявляється можливим. У той же час зберігається прагнення до покращення екологічності та енергоефективності. Тому найкращим способом досягнення цієї мети на сьогодні залишається пошук способів підвищення енергоефективності існуючого флоту, що також призведе до покращення екологічних показників роботи внутрішнього водного транспорту.

### Аналіз існуючих досліджень і публікацій

Існує багато різних розробок і проектів, спрямованих на зменшення шкідливих викидів в атмосферу від судових двигунів. Основні напрямки досліджень включають збільшення корисної тяги за рахунок зменшення лобового опору руху судна [3],

використання водно-паливних емульсій [5], очищення вихлопних газів перед викидом в атмосферу [4]. В основному сучасні розробки в галузі модернізації флоту базуються на використанні систем очищення вихлопних газів, насамперед каталізаторів SCR та DPF – сажового фільтра. Як зазначалося вище, ці розробки передбачають масштабні та дорогі зміни конструкції. Однак часто достатньо мати надійну систему параметричної діагностики та аналітичні алгоритми, щоб виконати правильний аналіз та отримати достовірну інформацію про поточний стан рушійного комплексу та його компонентів.

Зокрема, відомо, що аналітична синхронізація даних моніторингу робочого процесу є базовою при вирішенні загальної проблеми параметричної діагностики транспортних двигунів в режимі експлуатації. Це завдання актуально для діагностики всіх видів транспорту (авіаційного, залізничного, морського, і т.д.). Недостатня точність рішення задачі синхронізації є причиною значних помилок у визначенні потужності і витрати палива, а також помилок в діагностиці основних вузлів і систем двигуна [13, 14].

#### Виклад основного матеріалу

Розуміючи важливість вирішення складного завдання поліпшення екологічності та підтримання присутності існуючого флоту на ринку, за сприяння судовласника, який залишається активним учасником ринку дунайських перевезень – Приватного акціонерного товариства «Українське Дунайське пароплавство», започатковані дослідження режимів роботи суден у дунайському судноплаванні. Метою цих досліджень є отримання надійних результатів щодо сучасних та досяжних показників енергоефективності та екологічності дунайського флоту.

Дунай є дуже специфічним водним шляхом, який відрізняється від інших Європейських насамперед – великою довжиною понад 2250 км та відповідним варіюванням навігаційних умов плавання. Здійснюючи аналіз з позицій інтенсивності (щільності) перевезень пасажирів та вантажів, транспортну систему Дунаю можна приблизно представити наступним чином:

- Верхній Дунай (ділянки Німеччини, Австрії, Словаччини та частково Угорщини);
- Середній Дунай (ділянки Угорщини, Хорватії та Сербії);
- Нижній Дунай (ділянки Сербії, Румунії, Болгарії, Молдови та України).

Відповідно, оперативний (щомісячний) аналіз транспортного ринку проводиться за ділянками та в транскордонному (країна / країна) контексті із

застосуванням спеціального методу, в якому, крім офіційної статистики придунайських країн-членів, Дунайська комісія також акумулює та оцінює дані контролю основних гідровузлів: на верхньому Дунаї це Кельхайм, Йохенштайн та Габчиково; на середньому Дунаї це пункт Мохач.

Базуючись на аналізі спостереження за ринком дунайських перевезень, які виконує та публікує Дунайська Комісія, можна перекоонатися, що основною цільовою групою досліджень безумовно є лідируючий по кількості суднопроводів тип суден – штовхачи, які працюють з важкими караванами несамохідних суден [8].

Цей вибір цільової фокус-групи суденштовхачів обумовлений значною перевагою у регулярно виконуваних транспортних роботах порівняно з іншими типами суден, згідно з спостереженнями двох ключових пунктів спостереження – Мохача (1450 км ріки Дунай, Угорщина) та Габчикова (1820 км ріки Дунай, Словаччина).

Діагностика та подальше вдосконалення характеристик робочого процесу двигуна є одним із варіантів вирішення ККД силової установки. Так, під час рейсу на т/х «Борис Макаров» (власник – Українське Дунайське пароплавство), були проведені діагностичні роботи головних та допоміжних двигунів із використанням системи *DEPAS D4.0H*.

Діагностика судових двигунів і вибір оптимальних режимів експлуатації базуються на аналізі індикаторних діаграм тиску в робочому циліндрі залежно від кута повороту колінчастого валу (ПКВ) [11]. Паралельно з індикаторними діаграмами, отриманими під час експлуатації, можуть розглядатися діаграми фаз газорозподілу і характеристика паливоподачі, які підвищують достовірність діагностики [9, 10]. В результаті аналізу індикаторних діаграм розраховується середній індикаторний тиск ( $MIP$ ) і індикаторна потужність ( $N_i$ ), яка надалі використовується в управлінні режимами експлуатації двигунів, в розрахунках питомих показників, а також в розрахунках коефіцієнтів енергоефективності суден по рекомендаціях *IMO* [7]. Найбільший вплив на точність розрахунку індикаторної потужності надає похибка у визначенні положення верхньої мертвої точки (ВМТ) [6].

Основним діагностичним параметром, який можна знайти у всіх системах контролю робочого процесу, є тиск газу в циліндрі  $P(\varphi)$ . Цю величину в більшості випадків визначають за допомогою спеціальних датчиків тиску, що встановлюються на індикаторний кран. У деяких системах застосовуються стаціонарні вбудовані датчики тиску з великим моторесурсом, розрахованим на весь період експлуатації двигуна [12].

Система діагностування *DEPAS D4.0H* спроектована і розроблена для використання на суднових дизелях (головних і допоміжних), також система може бути використана на будь-яких дизельних енергетичних установках, а саме: морські головні дизелі, допоміжні дизелі, залізничні дизелі, берегові дизельні енергетичні установки. Система діагностування *DEPAS D4.0H* рис. 1 в стандартному виконанні складається з таких компонентів: *DEPAS Handy* або модуль реального часу, *DEPAS* програмне забезпечення + документація, датчик тиску *PS-*

16, вібродатчик *VS-20*. Окрім вимірювання тиску газів в циліндрах, система *DEPAS D4.0H* використовує сучасний метод віброакустичного аналізу [10]. За допомогою вібродатчика *VS-20* реєструються геометричні і дійсні фази подачі палива, а також характер руху голки форсунки, що особливо важливо для визначення технічного стану як самої форсунки, так і паливного паливної апаратури високого тиску в цілому.



а) *DEPAS Handy* або модуль реального часу *D4.0H*



б) датчик тиску

в) вібродатчик

Рис. 1. Система параметричної діагностики *DEPAS D4.0H*

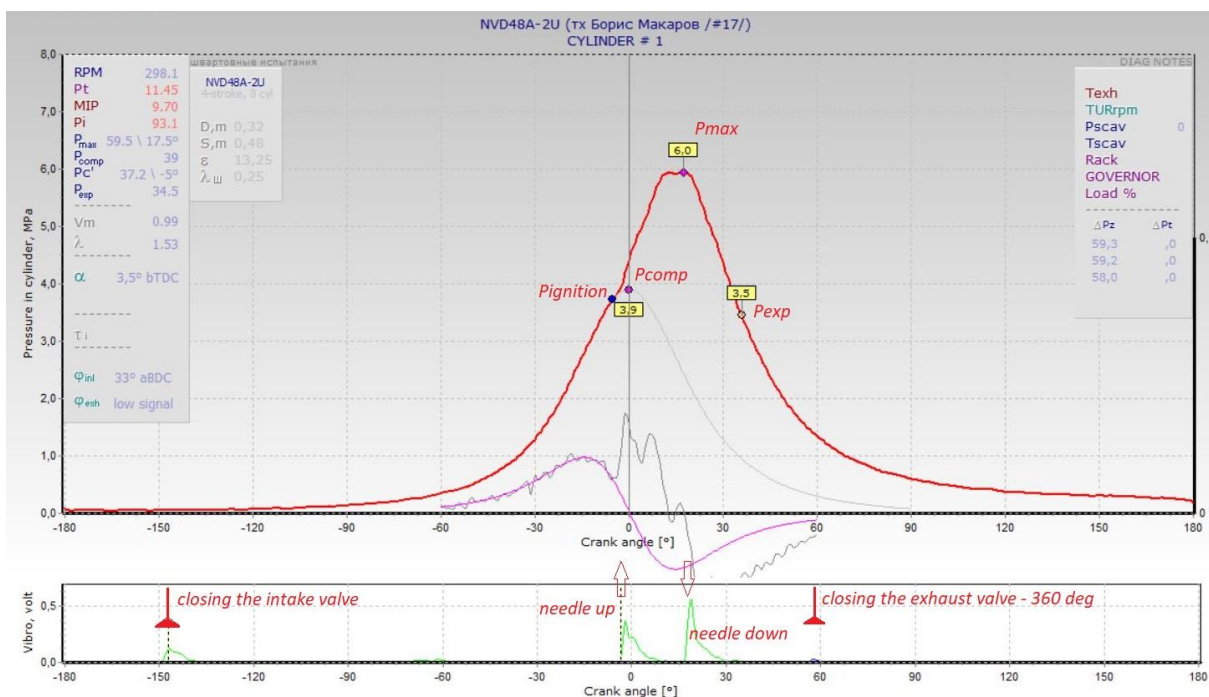


Рис. 2. Індикаторна діаграма та вібраційна діаграма системи *DEPAS D4.0H* за результатами випробувань на т/х "Борис Макаров"

Використання вібродатчика в системі пояснюється рис. 2. Фази впорскування палива (початок відповідає підйому голки «*needle up*») та закінчення, відповідає посадці «*needle down*») збігаються з передніми фронтами віброімпульсів на нижній вібродіаграмі. Аналіз вібродіаграм дає можливість оцінити фази подачі палива за допомогою контактного вібродатчика, без препарування форсунки і без

впровадження спеціальних датчиків в систему високого тиску. Крім того, форма віброімпульсів відображає технічний стан форсунки і всієї паливної апаратури високого тиску в цілому. При нормальному технічному стані форсунка генерує два імпульси (на початку і в кінці впорскування) з чітко вираженими передніми фронтами (рис. 2).

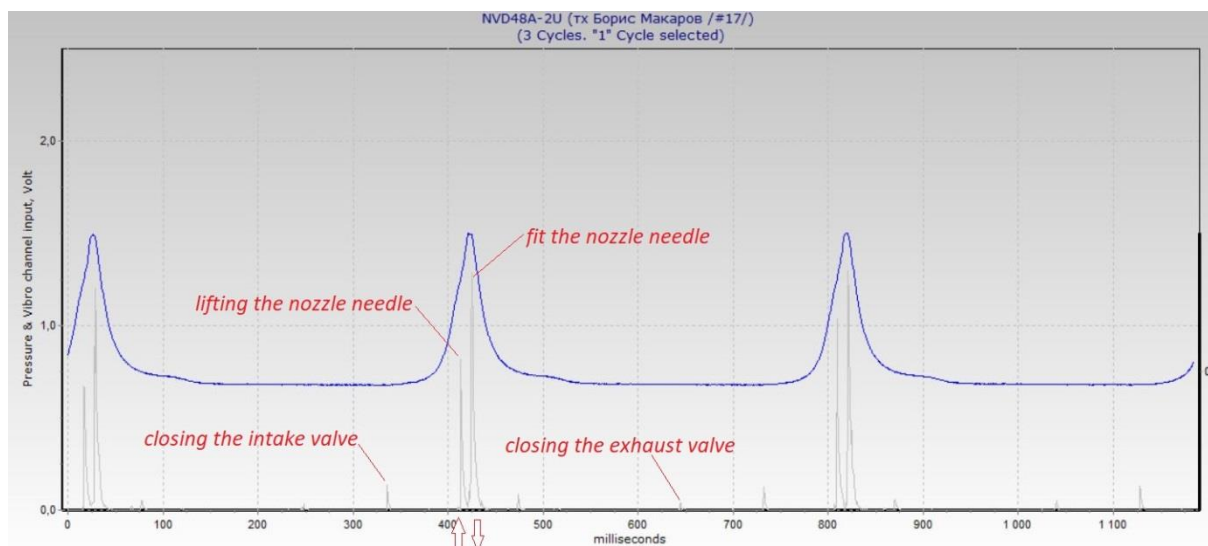


Рис. 3. Вібродіаграми головних двигунів NVD48A-2U т/х "Борис Макаров" з використанням системи DEPAS D4.0H

Параметри роботи механізму газорозподілу під час роботи двигуна не визначаються жодною з відомих діагностичних систем. В даному випадку, використання в системах D4.0H методів віброакустичного аналізу дозволяє визначати фази газорозподілу по віброімпульсах (рис. 2, 3) при закритті клапанів «*closing the intake valve*», «*closing the exhaust valve*» і здійснювати оцінку їх технічного стану за формою вібродіаграм.

Фази подачі палива і газорозподілу, а також технічний стан паливної апаратури і механізму газорозподілу визначаються за допомогою контактного вібродатчика VS-20. Датчик має магнітну основу і міцно фіксується в місцях контактів. Визначення зазначених параметрів відбувається без безпосереднього впливу в паливну апаратуру високого тиску і спеціальних кріплень до механізму газорозподілу [10].

У випадку встановлення вібродатчика на торець форсунки, фазова відстань від переднього фронту до верхньої мертвої точки (ВМТ) характеризує дійсний кут випередження впорскування палива. При встановленні вібродатчика на заглушку, напроти відсічного вікна паливного насоса високого тиску (ТНВД), фазова відстань від переднього фронту віброімпульса до ВМТ характеризує геоме-

тричний кут початку подачі палива ТНВД (кут, який визначається за «меніском»).

#### Результати діагностування головних дизелів т/х «Борис Макаров»

Індиціювання дизелів проводилося за допомогою системи параметричної діагностики D4.0H, розробленої на кафедрі «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету. Перед індиціюванням були задані вихідні параметри ГД, які необхідні для розрахунку індикаторного тиску та індикаторної потужності циліндрів. В якості головних двигунів встановлені 2 дизеля марки 8NVD48A-2U фірми «SKL» (Німеччина). Дизелі чотиритактні, рядні, реверсивні, тронкові, простої дії, з газотурбінним наддувом і автоматизованим дистанційним керуванням. Основні характеристики:

- номінальна потужність 852 кВт;
- частота обертання 375 об/хв;
- кількість циліндрів 8;
- діаметр циліндра 320 мм;
- хід поршня 480 мм;
- ступінь стиснення  $\epsilon = 13,25$ ;
- середній ефективний тиск 0,9 МПа;
- питома ефективна витрата палива 220 г/(кВт год).

На рис. 4 наведено зведені індикаторні діаграми ГД т/х «Борис Макаров», зняті при роботі на основному експлуатаційному режимі.

За результатами діагностування ГД були зроблені наступні висновки:

ГД1:

- 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.

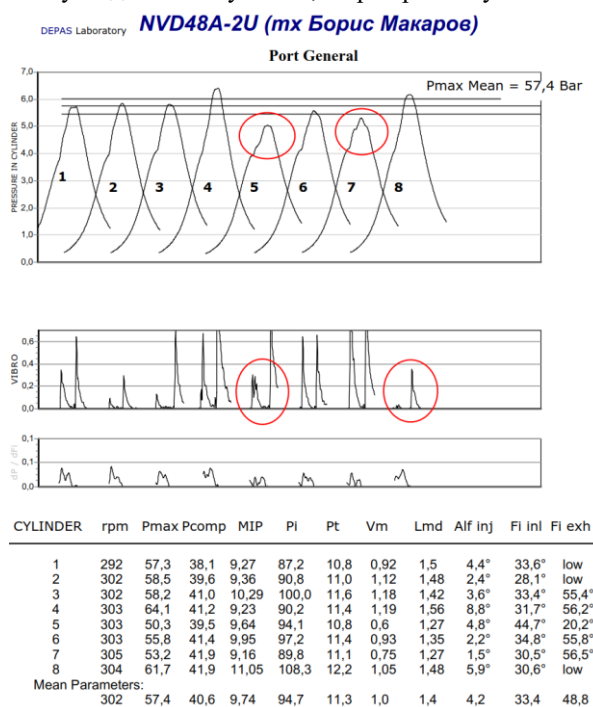
ГД2:

- циліндр 2: збільшена циклова подача на 2 індекси;
- циліндр 3: пізній кут впорскування, форсунка у задовільному стані, перевірити кут шайби,

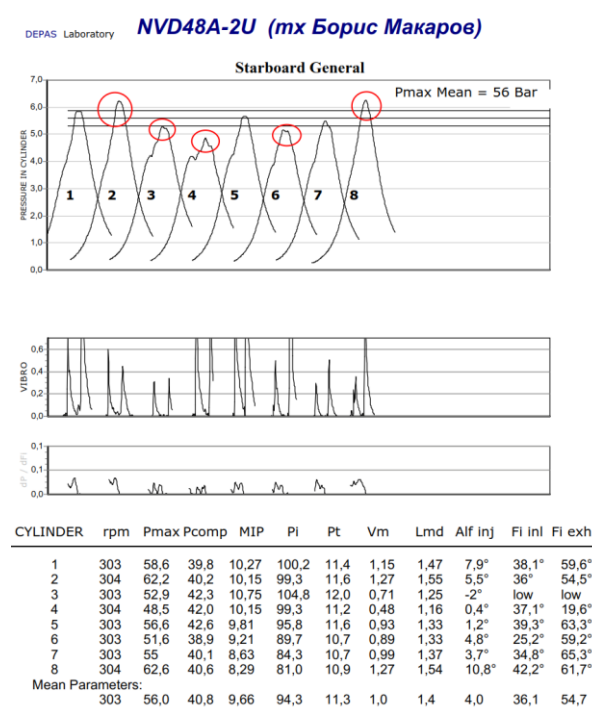
ревзія плунжерної пари паливного насосу високого тиску;

- циліндр 4: пізній кут впорскування, форсунка у задовільному стані, скорочений кут впорскування, ревзія плунжерної пари паливного насосу високого тиску, ревзія випускного клапану;
- циліндр 5: ревзія випускного клапану;
- циліндр 6: зменшена циклова подача на 2-3 індекси, ревзія впускного клапану;
- циліндр 8: ревзія форсунки.

Після визначення параметрів робочого процесу (див. рис. 5) і побудови зведених індикаторних діаграм (рис. 4) на основному експлуатаційному режимі необхідно усунути виявлені дефекти ЦПГ, ПА і МГР. Потім необхідно вирівняти циліндрові потужності регулюванням циклових подач палива по циліндрах. Після балансування потужностей необхідно провести контрольне індиціювання.



а)



б)

Рис. 4. Зведені індикаторні та вібраційні діаграми головного двигуна NVD48A-2U т/х "Борис Макаров" 10.01.2020 за результатами випробувань; а – лівий ГД1; б – правий ГД2

Відомо, що операційний індекс енергоефективності  $EEOI$  у загальному вигляді відповідно до принципів, що застосовуються Міжнародною морською організацією  $IMO$  для морських суден, може бути оцінений за формулою:

$$EEOI = \frac{N_e \cdot SFC \cdot C_F}{Dw \cdot v}, \quad (1)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність головного двигуна (ГД), кВт;  $SFC$  – питома витрата палива, г/(кВт·г);  $C_F$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  (безрозмірний конвер-

сійний фактор між споживанням палива і викидом  $CO_2$ ),  $C_F = T_{CO_2} / T_{топлива}$   $Dw$  – дедвейт, т;  $v$  – швидкість судна, км/год. Чисельник в цій формулі являє собою викиди  $CO_2$ , г, а знаменник – транспортну роботу, т·км.

Для попередньої оцінки індексу енергоефективності, були взяті результати випробувань т/х «Знаменка» з караваном з 5 завантажених несамохідних одиниць у чотирьох різних варіантах побудови складу (табл. 1) в діапазоні робочих швидкостей [7].

Таблиця 1. Індекси енергоефективності т/х "Знаменка" для різних варіантів компоновки каравану, основані на результатах випробувань

Швидкість			Індекси енергоефективності			
вуз.	м/с	км/ГОД	EEI <sub>1</sub>	EEI <sub>2</sub>	EEI <sub>3</sub>	EEI <sub>4</sub>
2,16	1,11	4	4,45	1,95	1,79	3,46
2,7	1,39	5	4,71	2,51	2,47	3,71
3,25	1,67	6	5,20	3,25	3,29	4,16
3,77	1,94	7	5,88	4,2	4,19	4,79
4,32	2,22	8	6,81	5,25	5,21	5,63

З табл. 1 витікає, що діапазон змін значень індексу енергоефективності для кожного каравану

становить 25...60%, залежно від швидкості та форми складу. За умови вибору раціональної швидкості та форми складу потенціал підвищення енергоефективності у внутрішньому Дунайському судноплавстві в цілому становить 20...55%. Безсумнівно привабливим є відсутність в капітальних вкладеннях з боку судовласників для модернізації флоту (за винятком звичайних експлуатаційних витрат), для підтримання усталених принципів довготривалої роботи з важкими караванами. Підвищення енергоефективності пов'язане з покращенням екологічності за рахунок зниження витрати палива відносно до виконуваної транспортної роботи.

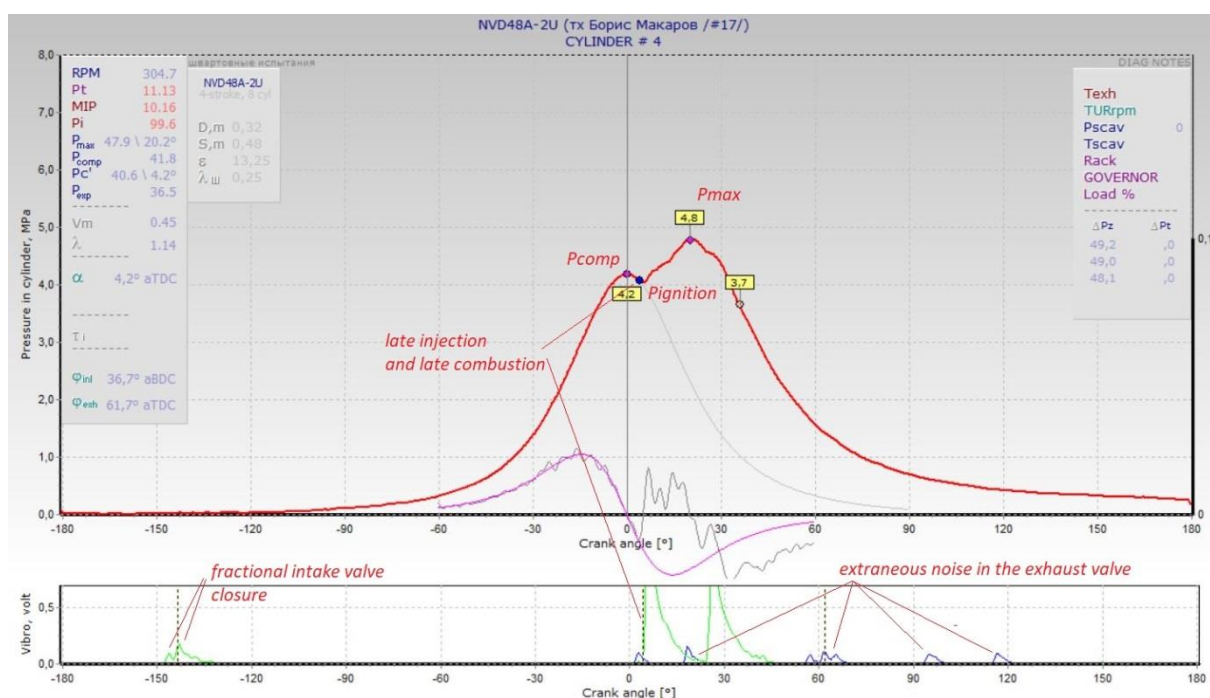


Рис. 5. Приклад індикаторної діаграми циліндра №4 ГД2 системи DEPAS D4.0H за результатами випробувань на т/х "Борис Макарів"

### Висновки

Досвід роботи з системою показує, що постійний контроль технічного стану головних і допоміжних двигунів (рис. 5) своєчасне усунення дефектів паливної апаратури і її регулювання спільно з регулюванням механізму газорозподілу дає хороші результати:

- підтримується рівномірний розподіл навантажень по циліндрах і температурах випускних газів;
- зменшується загальна теплонапруженість деталей циліндро-поршневої групи, усуваються перегрів окремих циліндрів і вимушене зниження потужності двигуна;
- запобігаються аварійні ситуації, зокрема, та-

кі як пожежі в підпоршневих (однією з основних причин загоряння в підпоршневих є неякісний розпил палива, його підмішування в циліндрове масло і, отже, зниження температури спалаху масла);

- своєчасне усунення дефектів і регулювання ГД і ДГ дозволяє додержувати паспортні режими експлуатації, планову швидкість судна і мати резерв потужності двигунів.

### Список літератури:

1. NRMM STAGE V REGULATION (EU) 2016/1628 (Emission regulation for non-road mobile machinery: EU Stage V): [web-site.](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf) URL: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V\\_policy%20update\\_ICCT\\_nov2016.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf) (Accessed: 16.05.2021).
2. GRENDEL - GRENDEL: The Final Event Of

A Fruitful Transnational Cooperation ): web-site. URL: <http://www.interreg-danube.eu/news-and-events/project-news/5625>. (Accessed: 05.03.2021) 3. Anghelută, Cristi-Marian, Silviu Perijoc, and Adrian Presura. Retrofitting of Danube Vessels for a Green and Efficient Fleet. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle XI Shipbuilding* 42 (November 26, 2019): 175-182. Accessed March 14, 2021. URL: <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/fanship/article/view/2506>. 4. Chirica I. Retrofit Solutions for Green and Efficient Inland Ships / Chirica I., Presura A., Anghelută C.M. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019 – Volume 1297, 5th International Scientific Conference SEA-CONF. p.p. 17–18. 5. Марченко А.П. Особенности процесса сгорания в дизеле при работе на водотопливной эмульсии / Марченко А.П., Парсаданов, И.В., Прохоренко, А.А., Савченко, А.В., Осетров, А.А. // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2016. – №. 1. – С. 3-10. 6. Varbanets R.A. Determination of top dead center location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis / Varbanets R.A., Zalozh V.I., Shakhov A.V., Savelieva I.V., Pitera V.M. *Diagnostyka // Polish society of technical diagnostics*. – 2020. №21(1). P. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/116585>. 7. Tarasenko T. The Ways to Improve Energy Efficiency and Eco-friendliness of the Specific Danube Inland Vessels. First Stage / Tarasenko T, Zalozh V and Maksymov S. // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2019. – Vol. 1297, conference 1. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1297/1/012019>. 8. Danube Commission official web-site. URL: <https://www.danubecommission.org/dc/en/danube-navigation/market-observation-for-danube-navigation/> (Accessed: 06.03.2021) 9. Варбанець Р.А. Александровская Н.И. Определение основных параметров рабочего процесса и результаты диагностики главных дизелей теплохода «Greifswald» / Варбанець Р.А., Беленький П.Н., Яровенко В.А., Ваганов А.И., Александровская Н.И. // *Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология*. – 2015. – №2. – С. 31-41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-parametrov-rabochoho-protsessa-i-rezultaty-diagnosticski-glavnyh-dizeley-teplohoda-greifswald>. 10. Варбанець 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> 11. Heywood. *Internal combustion engine fundamentals* / Heywood, B. John. – New York: McGraw-Hill, 1988. – 930 p. 12. Neumann S. Marine diesels working cycle monitoring on the base of IMES GmbH pressure sensors data / S. Neumann, R. Varbanets, O. Kyrylash та ін. // *Diagnostyka*. – 2019. – № 20(2). – P. 19–26. <https://doi.org/10.29354/diag/104516>. 13. Варбанець Р.А. Особливості аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в умовах експлуатації / Варбанець Р.А., Залож В.І., Тарасенко Т.В., Кучеренко Ю.М., Клименко В.Г. // *Двигуни внутрішнього згорання*. – 2020. – № 1. – С 14-21. <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2020.1.02>. 14. Варбанець Р.А. Метод аналітичної синхронізації даних моніторингу робочого процесу транспортних дизелів в експлуатації / Варбанець Р.А., Залож В.І., Тарасенко Т.В., Белоусова Т.П., Ерыганов А.В. // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2020. – Вип. № 7. – С 118-128. DOI: <https://doi.org/10.32620/akt.2020.7.17>.

**Bibliography (transliterated):**

1. NRMM STAGE V REGULATION (EU) 2016/1628 (Emission regulation for non-road mobile machinery: EU Stage V): web-site. URL: [https://theict.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V\\_policy%20update\\_ICCT\\_nov2016.pdf](https://theict.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf) (Accessed: 16.05.2021) 2. GRENDDEL - GRENDDEL: The Final Event Of A Fruitful Transnational Cooperation ): web-site. URL: <http://www.interreg-danube.eu/news-and-events/project-news/5625>. (Accessed: 05.03.2021) 3. Anghelută, Cristi-Marian, Silviu Perijoc, and Adrian Presura. Retrofitting of Danube Vessels for a Green and Efficient Fleet. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle XI Shipbuilding* 42 (November 26, 2019): 175-182. Accessed March 14, 2021. URL: <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/fanship/article/view/2506>. 4. Chirica, I., Presura, A., Anghelută, C.M. (2019), Retrofit Solutions for Green and Efficient Inland Ships. *Journal of Physics: Conference Series, Volume 1297, 5th International Scientific Conference SEA-CONF* 17–18. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1297/1/012009>. 5. Marchenko, A.P., Parsadanov, I.V., Prokhorenko, A.A., Savchenko, A V., Osetrov, A.A., & Meshkov, D.V. (2016), "Features of the combustion process in a diesel engine when operating on a water-fuel emulsion" [Osobnosti protsesssa sgoraniya v dizele pri rabote na vodotoplivnoi emul'sii, *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*], №. 1. p.p. 3-10. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2016.1.01>. 6. Varbanets, R.A., Zalozh, V.I., Shakhov, A.V., Savelieva, I.V., Pitera, V.M. (2020), Determination of top dead center location based on the marine diesel engine indicator diagram analysis. *Diagnostyka. Polish society of technical diagnostics*, №21(1), p.p. 51–60. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/116585>. 7. Tarasenko, T, Zalozh, V and Maksymov, S. The Ways to Improve Energy Efficiency and Eco-friendliness of the Specific Danube Inland Vessels. First Stage. *Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol. 1297, conference 1*. p.p. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1297/1/012019>. 8. Danube Commission official web-site. URL: <https://www.danubecommission.org/dc/en/danube-navigation/market-observation-for-danube-navigation/> 9. Varbanets, R.A., Belen'kii, P.N., Yarovenko, V.A., Vaganov, A.I., Aleksandrovskaya, N.I. (2015), "Determination of the main parameters of the working process and the results of diagnostics of the main diesel engines of the motor ship "Greifswald" [Opredelenie osnovnykh parametrov rabochoho protsesssa i rezul'taty diagnosticski glavnykh dizelei teplkhoda «Greifswald», *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*], №2, p.p. 31-41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-parametrov-rabochoho-protsessa-i-rezultaty-diagnosticski-glavnyh-dizeley-teplohoda-greifswald>. 10. Varbanets R. A. i dr. (2015) "Determination of the parameters of the working process and diagnostics of the main medium-speed diesel engines of the m / v "GREIFSWALD" [Opredelenie parametrov rabochoho protsesssa i diagnostika glavnykh sredneoborotnykh dizelei t/kh «GREIFSWALD», *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*], №. 1, p.p. 63-68. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/17891>. 11. Heywood, John, B. (1988), *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill, New York, 930 p. 12. Neumann S. (2019), *Marine diesels working cycle monitoring on the base of IMES GmbH pressure sensors data*, *Diagnostyka*, № 20(2), p.p. 19–26. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/104516>. 13. Varbanets', R.A., Zalozh, V.I., Tarasenko, T.V., Kucherenko Yu.M., Klimenko, V.G. (2020) "Features of analytical synchronization of data of monitoring of working process of transport diesels in the conditions of operation" ["Osoblivosti analitichnoi sinkhronizatsii danikh monitoringu robochoho protsesu transportnykh dizeliv v umovakh ekspluatatsii", *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*], № 1, p.p 14-21. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2020.1.02>. 14. Varbanets, R.A., Zalozh, V.I., Tarasenko, T.V., Belousova, T.P., Eryganov, A.V. (2020), "Method of analytical synchronization of monitoring data of the working process of transport diesels in operation" ["Metod analiticheskoi sinkhronizatsii dannykh monitoringu robochoho protsesssa transportnykh dizelei v ekspluatatsii. Aviatstino-kosmichna tekhnika i tekhnologiya", *Dvigateli vnutrennego sgoraniya*], № 7, p.p. 118-128. DOI: <https://doi.org/10.32620/akt.2020.7.17>.

**Варбанець Роман Анатолійович** – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри Суднових енергетичних установок та технічної експлуатації, Одеський Національний Морський Університет, м. Одеса, Україна, e-mail: roman.varbanets@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6730-0380>.

**Залож Віталій Іванович** – канд. техн. наук, доцент кафедри інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна, e-mail: zalogh@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5213-6896>.

**Тарасенко Тетяна Владиславівна** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», м. Ізмаїл, Україна, e-mail: sergeysunny-sat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8107-3524>.

**Кирнац Владислав Іванович** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація», Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна, e-mail: kirnacsyvlad@gmail.com

**Клименко Валентин Григорович** – асистент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація», Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна, e-mail: valiko.klim@gmail.com

**Александровська Надія Ігорівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація», Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна, e-mail: a.nadegda@gmail.com

#### **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ DEPAS D4.0H ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

*Р.А. Варбанец, В.И. Залож, Т.В. Тарасенко, В.И. Кирнац, В.Г. Клименко, Н.И. Александровская*

Одним из наиболее острых тематических направлений при обсуждениях на международных форумах различных уровней являются вопросы улучшения экологических характеристик и повышение энергоэффективности работы судов торгового флота как в международном морском, так и внутреннем судоходстве. В данной статье рассмотрены результаты практического применения аналитических методов обработки данных индентификации судовых двигателей внутреннего сгорания дунайского буксира-толкача в условиях эксплуатации, а также некоторые аспекты применения результатов аналитической синхронизации полученных данных для дальнейшего обоснования оптимальных режимов эксплуатации таких судов. Результаты применимы для определения возможного диапазона варьирования показателей энергоэффективности и экологичности. При определении индексов энергоэффективности учитываются различные формы построения толкаемых караванов, наиболее часто работающие в дунайском судоходстве. Также сделаны дальнейшие шаги для обоснования концепции приоритетности диагностики и оптимизации работы двигателей существующих судов по сравнению с реализацией проектов инновационных судов. Безусловно, внедрение новых проектов теоретически приведет к более быстрому достижению целей ряда европейских проектов (например, GRENDEL – Green and Efficient Danube Fleet, European Green Deal conception, пр.) достижения нулевой эмиссии, но любые новаторские проекты являются значительно более дорогими, чем любые модернизации и оптимизации режимов движения судов, которые уже есть в составе дунайского флота, и которые успешно работают с неплохими экономическими результатами. В данном контексте проекты инновационных судов не являются привлекательными для судовладельцев и других участников рынка дунайских перевозок. Необходимость привлечения дополнительных инвестиций, недостаток средств, падение рынка в условиях пандемических ограничений, фактическая потеря бизнес-позиций небольших судовладельцев – все это является факторами, которые делают невозможным широкое применение инновационных разработок и решений по полному обновлению дунайского флота судовладельцами.

**Ключевые слова:** транспортный дизель; мониторинг рабочего процесса; индикаторная мощность; коэффициент энергоэффективности судов; аналитическая синхронизация.

#### **SOME ASPECTS OF THE DEPAS D4.0H SYSTEM APPLICATION FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF INLAND NAVIGATION VESSELS**

*R. Varbanets, V Zalozh, T Tarasenko, V. Kirnats, V. Klymenko, N. Alexandrovskaya*

One of the most acute thematic areas in discussions at international forums at various levels are the issues of improving the environmental performance and increasing the energy efficiency of the merchant marine vessels, both in international maritime and inland navigation. This article discusses the results of the practical application of analytical methods for processing the indication data of internal combustion engines of the Danube pusher under operating conditions, as well as some aspects of the application of the results of analytical synchronization of the data obtained to further substantiate the optimal operating modes of such vessels. The results are applicable to determine the possible range of variation in energy efficiency and environmental friendliness. When determining the energy efficiency indices, various forms of pushed caravans, most often operating in the Danube shipping, are taken into account. Further steps have also been taken to substantiate the concept of prioritizing diagnostics and optimizing the operation of engines of existing ships in comparison with the implementation of innovative ships projects. Surely, the introduction of new projects will theoretically lead to a faster achievement of the goals of a number of European projects (for example, GRENDEL - Green and Efficient Danube Fleet, European Green Deal conception, etc.) to achieve zero emissions, but any innovative projects are much more expensive than any modernization and optimization of the movement modes of vessels that are already in the Danube fleet, and which are successfully operating with good economic results. In this context, innovative vessel projects are not attractive to shipowners and other participants in the Danube transport market. The need to attract additional investments, lack of funds, market decline in the context of pandemic restrictions, the actual loss of business positions of small shipowners - all these are factors that make it impossible for the widespread use of innovative developments and solutions for the complete renewal of the Danube fleet by shipowners.

**Key words:** transport diesel; working process monitoring; indicated power; vessels energy efficiency coefficient; analytical synchronization.