3. Rakha H., Ahn K., Trani A. VT-Micro model for estimating hot stabilized light duty vehicle and truck emissions // Transportation Research D. — 2004. — 9(1). — C. 49–74.

4. HBEFA. Handbook Emission Factors for Road Transport, версії 3.x/4.x. — Bern: INFRAS.

5. COPERT 5. Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport. — European Environment Agency/EMISIA, чинне вид.

6. EPA MOVES3. Motor Vehicle Emission Simulator. — Washington, DC: U.S. EPA.

7. Osorio C., Chong L. A dynamic network optimization formulation for eco-routing with probabilistic travel times // Transportation Science. — 2015. — 49(3). — C. 553–566.

8. Zhang R., Yao E., Wang X. Eco-routing based on vehicle dynamics and road grade // Transportation Research Part D. — 2015. — 34. — C. 176–184.

9. Frey H. C., Rouphail N., Zhai H. Speed and facility specific emissions for light-duty vehicles // Transportation Research Record. — 2008. — 2058. — C. 52–62.

10. OpenStreetMap Wiki. Highway and traffic tagging schemes. — OSM Foundation.

УДК 621.431

ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЛОВИХ ПРОФІЛІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ У ДЛЯ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ СИЛ, ЩО ДІЮТЬ У КРИВОШИПНО-ШАТУННОМУ МЕХАНИЗМІ

Рудь Артем Вадимович, магістрант, Первомайський навчально-науковий інститут національного університету кораблебудування
Рудь Вадим Миколайович, магістрант, Первомайський навчально-науковий інститут національного університету кораблебудування
Штефанко Станіслав Михайлович, магістрант, Первомайський навчально-науковий інститут національного університету кораблебудування
Білоусов Євген Вікторович, д.т.н., проф. Одеський національний морський університет, професор кафедри суднових технічних систем та комплексів
Крюков Артем Юрійович, магістрант, Первомайський навчально-науковий інститут національного університету кораблебудування, e-mail: artelkryukov@tuta.io

У практиці експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння поширення отримав метод порівняння індикаторних діаграм робочого процесу, знятих з двигуна під час планового обстеження, з еталонними індикаторними діаграмами. Традиційно зняття індикаторних діаграм проводилося під час ходу судна на режимі близькому до номінальної комерційної потужності двигуна.

Однак останнім часом суднові механіки стикаються з ситуацією, коли, з метою економії палива, графік руху судна не передбачає режимів необхідних для зняття індикаторних діаграм [1, 2]. За таких умов зняття індикаторних діаграм доводиться проводити на часткових навантаженнях для яких відсутня порівняльна база [2]. Ефективність такої діагностики дуже суттєво залежить від досвіду механіка, а саме його вміння інтерпретувати отримані результати. Далеко не всі механіки мають необхідну підготовку для вирішення такого роду задач, що породжує проблему невизначеності щодо технічного стану двигуна.

Суттєво покращити становище можливо шляхом використання числових профілів робочого процесу побудованих за результатами стендових випробувань двигуна заводом-виробником під час здавальних процедур [3]. Принаймні результаті цих випробувань можна вважати еталонними, оскільки вони задовольнили обидві сторони угоди.

Методика побудови числових профілів описана у роботах [4-7]. Однак наявність цифрового профілю робочого процесу може бути корисною на тільки для вирішення діагностичних задач, а й для більш детального аналізу інших процесів, що відбуваються в двигуні, наприклад аналізу динамічних сил які діють у кривошипно-шатунному механізмі. Особливо це актуально для двигунів які використовують альтернативні палива, у тому числі газові. Робочий процес таких двигунів суттєво відрізняється від робочого процесу дизельного двигуна, на базі якого він був створений [8, 9]. Саме це є підставою для занепокоєння потенційних замовників таких двигунів, оскільки сучасні суднові дизелі, особливо такі вартісні як малообертові, вже сьогодні працюють на межі можливостей сучасних матеріалів. Наприклад максимальний тиск циклу у деяких з них вже знаходиться на межі 18 МПа, тому, на додачу до цього, зростання швидкості наростання тиску, як це відбувається у газових модифікацій двигунів, може суттєво вплинути їх ресурс і інші показники надійності.

Саме побудова і детальний аналіз числових профілів сил, що діють в елементах кривошипно-шатунного механізму на різних режимах навантаження можуть статі дієвим інструментом вивчення динаміки двигунів з метою оптимізації їх конструкції відповідно до нових умов роботи. Приклад перерахунку числового профілю робочого процесу суднового двотактного малооборотного двигуна K90MC-C фірми MAN у профілі сил, що прикладені до поперечки крейцкопфу, наведено на рис. 1.

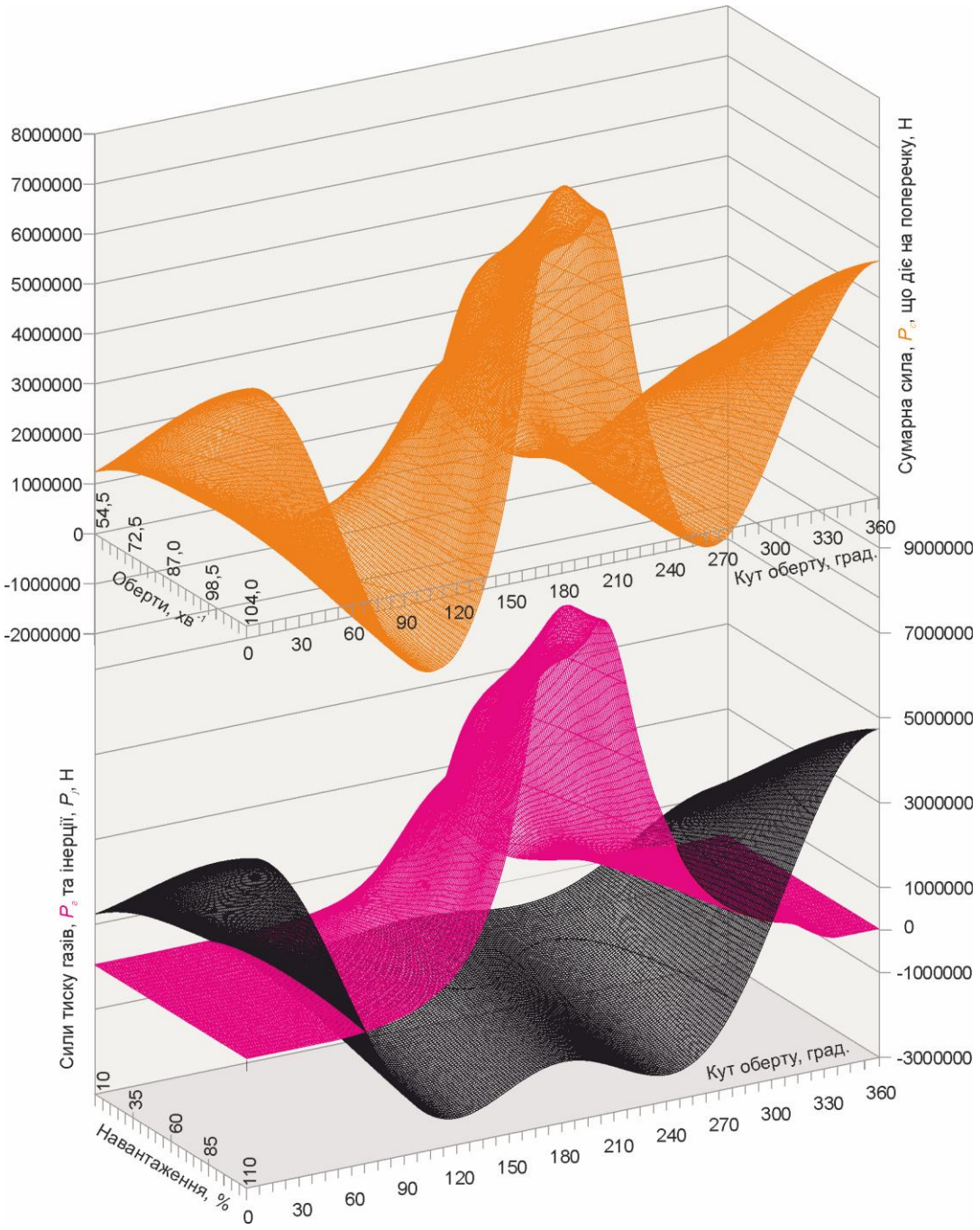

Рисунок 1 – Приклад перерахунку числового профілю робочого процесу двигуна К90МС-С у профілі сил, що прикладені до поперечки крейцкопфу

Числові профілі дозволяють визначити динаміку зміни сил для критичних кутів обертання. Наприклад для кутів перекладки руху поперечки крейцкопфу відносно крейцкопфного підшипника, де гідродинамічний режим змащення переходить у граничний.

Таким чином, використання числових профілів робочого процесу, може стати новим інструментом в досліджені динамічних процесів в двигунах, як в тих що вже знаходяться в експлуатації, так и нових двигунах, яки все частіше створюються під використання альтернативних палив.

Література

1. Sartini N. More haste less speed. Conteiner ship focus. Lloyd's Register, September 2008 Issue 5. – P. 3.

2. Shop test report of marine low speed diesel engine type: Doosan Man B&W 8K90MC-C, Project name DANA 1671, test date 21.03.2008, 68 p.

3. Рибальченко М.Є., Білоусов Є.В. Використання числових профілів робочого процесу для аналізу ефективності роботи суднового малообертового двигуна в умовах сучасної тенденції щодо зниження експлуатаційної швидкості суден. Водний транспорт. Збірник наукових праць ДУІТ. – К.: ДУІТ, 2022. – Випуск 2(36). – С. 71-83. doi:10.33298/2226-8553.2022.2.36.06

4. Розробка методів оцінки технічного стану двигунів за результатами індиціювання робочого процесу на режимах відмінних від номінальних. / Білоусов Є.В., Марченко А.П., Рибальченко М.Є., Савчук В.П., Тулученко Г.Я.: Двигуни внутрішнього згорання – Харків: вид. НТУ «ХПІ» – 2022. – № 1. – С 51-59. DOI: 10.20998/0419-8719.2022.1.07

5. Рибальченко М.Є., Білоусов Є.В. Використання числових профілів робочого процесу для аналізу ефективності роботи суднового малообертового двигуна на режимах часткових навантажень. Розвиток Транспорту № 3(14), 2022. – С. 97-109.

6. Digital Profiles of Work Processes of a Marine Engine for Calculated Indicator Diagrams in Operating Modes Other than Maximum Continuous Rating. / Belousov, E., Marchenko, A., Rybalchenko, M., Tuluchenko, G., Gritsuk I. Savchuk V., Volodarets M., // SAE Technical Paper 2023-01-5008, 2023, doi:10.4271/2023-01-5008.

7. Обробка індикаторних діаграм у задачах побудови цифрових профілів робочого процесу суднових двигунів. / М.Є. Рибальченко, Є.В. Білоусов, А.П. Марченко, В.П. Савчук, В.П. Будко // Двигун внутрішнього згорання – Харків: вид. НТУ «ХПІ» – 2023. – № 1. – С 33-41. doi: 10.20998/0419-8719.2023.1.05

8. Белоусов Е.В. Исследование процессов топливоподачи в газодизельных малооборотных двухтактных двигателях низького давления. / Варбанец Р.А, Савчук В.П., Грицук И.В., Вербовский В.С. // Двигатели внутреннего сгорания – Харьков: изд. НТУ«ХПИ» – 2019. – № 1. – С 27-33. DOI: 10.20998/0419-8719.2019.1.05

9. Организация внутреннего смесеобразования в судовых малооборотных газодизельных двигателях. / Е.В. Белоусов, В.П. Савчук, И.В. Грицук, Т.П. Белоусова: Двигатели внутреннего сгорания // Научно-технический журнал. Харьков: НТУ (ХПИ). – 2017. – №2. – 68 с., с. 13-16.