

3. Diploma Thesis by KONSTANTINA BERDEMPE. Electronic Marine Diesel Engine operating data management. An approach to components' failures forecasting. 2020. URL: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/51558/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%9C%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%94%CE%95%CE%9C%CE%A0%CE%95.pdf?sequence=1> (date of access: 02/12/2023).

4. Programming software – PLCNEXT ENGINEER. URL: <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/produkcija/programming-software-plcnnext-engineer-1046008> (date of access: 20/08/2023).

5. Nikolskyi V., Slobodianiuk M., Levinskyi M., Nikolskyi M. Wireless Remote Control Systems Of Marine Diesel Engine. Helsinki. 12 p. (in print).

6. Голюков В. А., Нікольський В. В., Левінський М. В., Нікольський М. В., Слободянюк М. В. Модернізація системи віддаленого управління та контролю аварійного дизель-генератора навчального машино-котельного відділення. *Суднові енергетичні установки*. 2022. Вип. 44. С. 64–70.

7. Миусов М. В., Ланчуковский В. И., Оженко Е. М. Электронные системы управления главными судовыми двигателями : учебное пособие. Одесса : ОНМА, 2013. 98 с.

8. Єрмошкін М. Г., Заблоцький Ю. В., Сагін С. В. Робочий цикл корабельних дизелів та його індикаторні та ефективні показники : навчальний посібник. Одеса : НУ «ОМА», 2019. 116 с.

9. Система моніторингу завантаження контейнеровоза : звіт з НДР : ДР № 0117 У 000317 / кер. роботи В. В. Нікольський, виконавець Ю. О Накул. Київ : УКРНТЕІ, 2018. 79 с.

10. Черниш І. І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні суднові дизелі: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса : НУ «ОМА», 2019. 217 с.

*Нікольський Віталій Валентинович* д.т.н., професор, професор кафедри «Технічна експлуатація флоту» Національного університету «Одеська морська академія». ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8123-4233>; [prof.nikolskyi@ukr.net](mailto:prof.nikolskyi@ukr.net).

*Левінський Максим Валерійович* к.т.н., доцент, доцент кафедри «Теорія автоматичного управління та обчислювальна техніка» Національного університету «Одеська морська академія». ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6544-5110>; [maxlevinskyi@gmail.com](mailto:maxlevinskyi@gmail.com).

*Нікольський Марк Віталійович* к.т.н., доцент, доцент кафедри «Автоматизація суднових енергетичних установок» Національного університету «Одеська морська академія». ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3387-7402>; [markdezert@ukr.net](mailto:markdezert@ukr.net).

*Слободянюк Микола Васильович* к.т.н., доцент, старший викладач кафедри «Корабельна енергетика та електроенергетичні системи» Інституту Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія». <https://orcid.org/0000-0003-2248-0255>; [Nikgavr1234@gmail.com](mailto:Nikgavr1234@gmail.com).

УДК 621.431.74

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПАЛИВОПОДАЧІ У ВИСОКООБЕРТОВИХ ДВИГУНАХ 9L21/31 ФІРМИ MAN ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРОФІЛЮ ПАЛИВНОГО КУЛАЧКА

**В. П. Будко\* \*\*, Є. В. Білоусов\*\*, В. П. Савчук\*\***

\*ТОВ Транспортний Судноплавний Менеджмент, \*\*Херсонська державна морська академія

**Анотація.** *Визначення динамічних характеристик паливної апаратури є початковим етапом аналізу динамічних характеристик робочого процесу дизеля. У рішенні науково-практичних задач, пов'язаних з надійністю роботи дизелів 9L21/31 фірми MAN, автори зіткнулися з необхідністю відновлення інформації стосовно закономірностей процесу паливоподачі по даним прямих вимірювань профілю паливного кулачка. Методичні та інструментальні обмеження таких вимірювань не дозволяють використовувати безпосередньо отриману таким чином інформацію, що потребує її попередньої обробки. Саме цьому було присвячено даний етап дослідження авторів.*

**Ключові слова:** *профіль паливного кулачка, швидкість плунжера, паливний насос.*

## **ANALYSIS OF FUEL SUPPLY PROCESSES IN MAN 9L21/31 HIGH SPEED ENGINES ACCORDING TO THE RESULTS OF DIRECT MEASUREMENTS OF THE FUEL CAM PROFILE**

**V. P. Budko\* \*\*, E. V. Bilousov\*\*, V. P. Savchuk\*\***

\*Transport Ship Management LLC, \*\*Kherson State Maritime Academy

**Abstract.** *Determination of the dynamic characteristics of the fuel equipment is the initial stage of the analysis of the dynamite characteristics of the diesel engine's work process. In solving scientific and practical problems related to the reliability of MAN 9L21/31 diesel engines, the authors faced the need to restore information about the regularities of the fuel supply process based on the data of direct measurements of the fuel cam profile. Methodological and instrumental limitations of such measurements do not allow the direct use of the information obtained in this way, which requires its preliminary processing. This stage of the authors' research was devoted to this.*

**Key words:** *fuel cam profile, plunger speed, fuel pump.*

У деяких випадках для вирішення науково-практичних завдань необхідні дані, які виробники з тих чи інших причин не наводять у технічній документації на суднові двигуни. Єдиним способом компенсувати таку нестачу – провести прямі виміри безпосередньо на двигуні. З подібною проблемою зіткнулися автори при дослідженні причин передчасного виходу з ладу підшипників колінчастого валу [1] двигуна 9L21/31 фірми MAN [2], які використовуються як головні на суднах проекту 17620 [3]. Для визначення динамічних характеристик робочого процесу знадобилися дані про динаміку вприскування палива, яка задається профілем паливного кулака. Для цього були проведені прямі вимірювання переміщення плунжера по куту повороту колінчастого валу, проте точність таких вимірювань у далеких від лабораторних умовах була досить низькою. Для практичного використання отримана інформація виявилася непридатною та вимагала попередньої обробки, методика якої була запропонована та використана авторами.

Суть методики полягає в наступному. На першому етапі отримана за результатами прямих вимірювань крива описується інтерполяційним поліномом, який підбирається за критерієм максимальної величини достовірності апроксимації.

Далі, за отриманим рівнянням полінома, відбудовується нова монотонна крива, що згладжує дефекти експериментальної кривої. При цьому деякі невідповідності на краях досліджуваної ділянки не так важливі, оскільки цей етап покликаний встановити лише принципові залежності.

Похідна даної кривої дозволяє виявити закономірності побудови профілю кулачка, який, як відомо, формується з лінійних ділянок зміни швидкості на різних етапах руху плунжера (рис. 1).

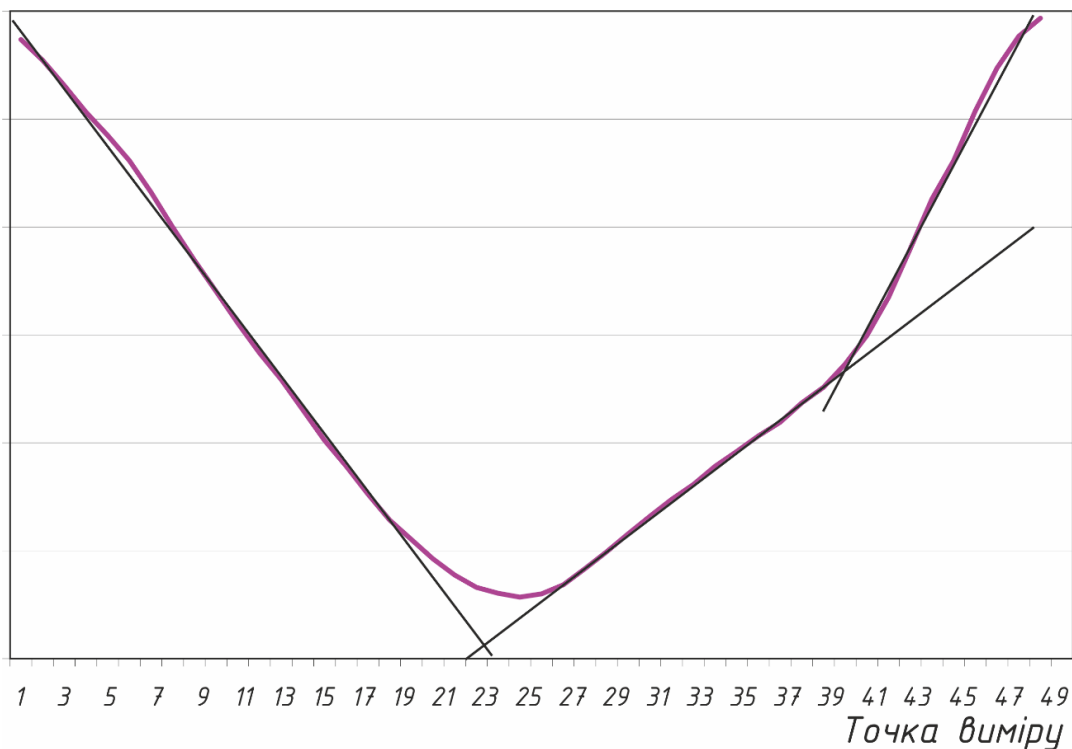


Рис. 1 – Похідна кривої, одержаної за результатами згладжування експериментальних даних з використанням апроксимації

Визначивши межі кожної з ділянок зміни швидкості, формуємо набір лінійних рівнянь для кожної ділянки і з них будуємо інтегральну характеристику ходу плунжера, після чого масштабуємо отримані криві і прив'язуємо їх до креслення паливного насоса (рис. 2).

Прив'язка до креслення дозволяє виділити область подачі, яка лежить між моментом перекриття верхньою кромкою плунжера наповнювальних вікон і величиною максимального активного ходу плунжера (визначається моментом збігу нижньої кромки з отвором наповнювачем).

З рис. 2 видно, що закон зміни швидкості плунжера складається з двох ділянок швидкості ліній прискорення (1, 2) і однієї ділянки ліній уповільнення (3). При цьому найбільше прискорення плунжера (1) припадає на ділянку холостого ходу, пов'язаного з перекриттям отворів у втулці. Ділянка основної подачі (зелена зона) повністю лежить на лінії наростання швидкості (2), і тільки перевантажувальна ділянка та ділянка запасу насоса за продуктивністю (40 %) переходить на лінію уповільнення (3).

Отримані результати аналізу добре узгоджуються з традиційною методикою формування профілів паливних кулачків, яка широко використовується для проектування паливних систем для всіх двигунів фірми MAN.

В результаті запропонованого методу обробки даних прямих вимірювань була отримана монотонна функція, придатна для подальшого аналізу процесів паливоподачі та характеру перебігу робочого процесу двигуна [4].

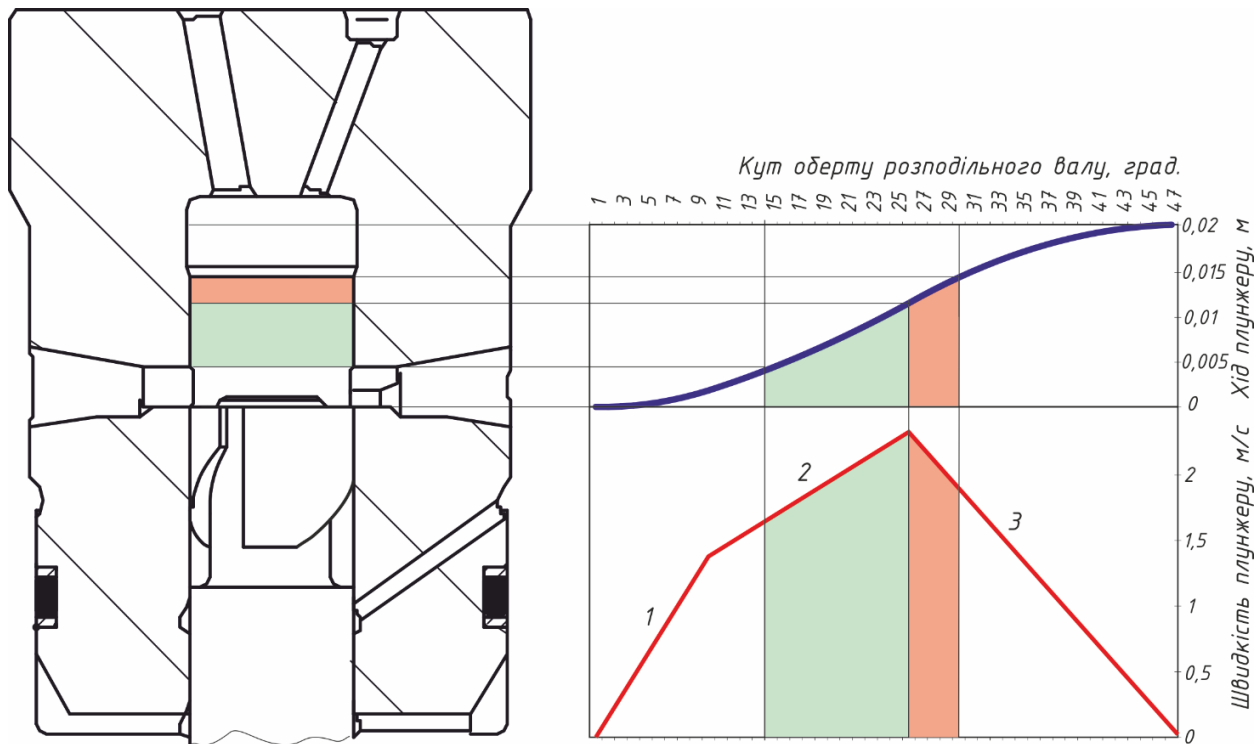


Рис. 2 – Крива швидкості плунжера та отримана по ній інтегральна крива переміщення плунжера з виділенням ділянки паливоподачі

## ЛІТЕРАТУРА

1. Будко В. П., Білоусов Є. В. Аналіз відмов головних двигунів типу MAN-B&W 9L21/31 в процесі їх експлуатації на суднах проекту 17620. *Суднова енергетика: стан та проблеми* : матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої пам'яті професора Горбова В. М., м. Миколаїв, 07–08 листопада 2023 року / Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, 2023. С. 35–37.
2. Karewood Brave, IMO 9281516. URL: <https://ships.jobmarineman.com/pl/karewood-brave-9281516/> (дата звернення: 11.02.2024).
3. Bilousov I., Bulgakov M., Savchuk V. *Modern Marine Internal Combustion Engines. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping*. Springer, Cham., 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-49749-1>.
4. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group / O. Saraiev, I. Saraieva, I. V. Gritsuk, V. Volkov et al. *SAE Technical Paper*. 2020. 2020-01-2022. DOI: 10.4271/2020-01-2022.

**Будко Вадим Петрович** аспірант кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія; технічний директор ТОВ Транспортний Судноплавний Менеджмент. [vadim27101964@gmail.com](mailto:vadim27101964@gmail.com).

**Білоусов Євген Вікторович** д.т.н., проф., проф. кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія. <https://orcid.org/0000-0001-8185-8209>, [ewbelousov67@gmail.com](mailto:ewbelousov67@gmail.com).

**Савчук Володимир Петрович** к.т.н, доц., завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсонська державна морська академія. <https://orcid.org/0000-0002-5266-850X>; [postsavchuk@gmail.com](mailto:postsavchuk@gmail.com),