

10.31653/smf340.2020.42-48

Половинка Є.М. Слободянюк М.В.

Національний університет «Одеська морська академія»
Інститут Військово-Морських Сил Національного університету
“ОМА”

СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВОПОДАЧІ СУДНОВОГО СЕРЕДНЬОБЕРТОВОГО ДИЗЕЛЯ

Дослідження показують [1, 2, 3, 4], що судові дизельні установки піддаються впливу коливального навантаження природного й технологічного походження. Вивчення впливу коливань на окремі вузли й системи дизеля, у тому числі на паливну систему представляється актуальним при формуванні й оцінці моделі процесу паливоподачі [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Моделювання процесів у паливній системі високого тиску дозволяє визначити взаємозв'язок параметрів паливоподачі з режимними й регульовальними факторами. Це дозволить у подальшому формувати рекомендації в області поліпшення процесу паливоподачі, витрат палива й оптимальність експлуатаційних режимів у цілому.

Сучасні дизельні установки обладнані різними паливними системами високого тиску, які потребують обґрунтованих налаштованих параметрів.

Метою доповіді є формування й оцінка характеристик статистичних моделей паливоподачі суднового середньообертового дизеля.

Традиційно, характеристики систем паливоподачі дизелів у графічному виді й у формі аналітичних моделей, подаються у статистичній обробці експериментальних даних, з оформленням результатів у формі регресійних залежностей. У даній роботі наведено саме такий підхід, який здійснений при аналізі результатів виміру параметрів паливоподачі суднового середньообертового дизеля, а дані отримані у ході безмоторних динамічних стендових випробувань. Умови експерименту відповідають навантажувальній [11] і швидкісній [12] характеристикам.

Експериментальні гідродинамічні показники на навантажувальній і швидкісній характеристиках отримані в ході проведення експериментального дослідження паливної системи високого тиску дизеля 6ЧН25/34 на безмоторному стенді. Пристрій і характеристики безмоторного стенда викладені в роботі [13].

У ході експериментального дослідження вимірювальною системою реєструвалися:

- тиск палива в штуцері паливного насоса p_n ;
- тиск палива на вході у форсунку $p_{ф.вх}$;
- тиск у паливному каналі форсунки $p_{ф.к}$;
- хід голки розпилювача (форсунки) z ;
- визначалася частота обертання розподільного валу n_p ;
- фіксувався кут повороту розподільного валу φ ;
- вимірювався час t ;
- переміщення рейки паливного насосу високого тиску (ПНВТ)

m_p ;

- затягування голки форсунки при випробуваннях склала 70 бар.

Рух рейки ПНВТ задавався циклограмою вихідних даних.

Методика дослідження включає статистичний аналіз на навантажувальній і швидкісній характеристиках.

Статистичний аналіз гідродинамічних показників на навантажувальній характеристиці виконаний за експериментальним даними, представленими у роботі [11].

Отримані експериментальні дані, в умовах динамічних випробувань при фіксованому положенні параметрів керування електродвигуном безмоторного стенда показали, що коливання навантаження викликані переміщенням рейки ПНВТ, були пов'язані зі зміною частоти обертання розподільного валу. Граничні зміни частоти обертання n_p склали 233÷255 об/хв, що відповідає 9% або $\pm 4.5\%$ від середнього значення.

Графік ходу експерименту показано на рис. 1.

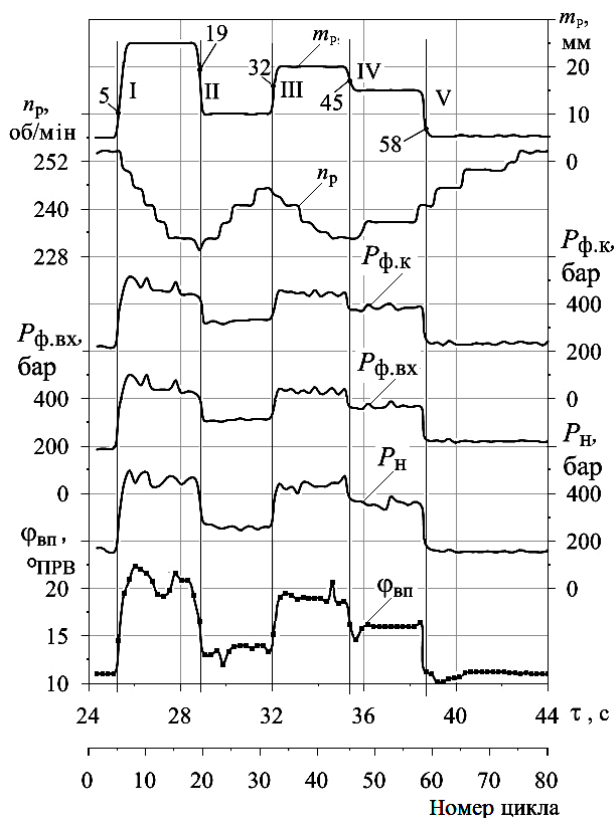


Рис. 1. Параметри паливоподачі на режимі навантажувальної характеристики при динамічних випробуваннях:

I – 5–25 мм; II – 25–10 мм; III – 10–20 мм; IV – 20–15 мм; V – 15–05 мм;

5, 19, 32, 45, 58 – номери циклів при переміщенні рейки

Для оцінки статистичної значимості зміни n_p в отриманому діапазоні проведено аналіз спільного впливу положення рейки m_p і n_p на величину кута упорскування $\phi_{вп}$. За допомогою пакета STATISTICA отримано двохфакторне регресійне лінійне рівняння щодо факторів $\phi_{вп} = 7,4168 + 0,49322m_p + 0,0050825n_p$. Статистичні параметри моделі представлені в табл. 1, 2.

Для оцінки значимості частоти обертання розглянемо два показника: рівень значимості p і критерій Ст'юдента t .

Таблиця 1

Одномірні критерії значимості для $\varphi_{\text{вп}}$					
Ефект	SS	Ступені волі	MS	F	p
Вільн.член	1,6728	1	1,6728	9,561	0,003074
m_p	438,8614	1	438,8614	2508,426	0,000000
n_p	0,0494	1	0,0494	0,2823	0,597274
Помил.	9,9724	57	0,1750	-	-

Таблиця 2

Оцінки параметрів						
Ефект	$\varphi_{\text{вп}}$ Парам.	$\varphi_{\text{вп}}$ Ст.помил.	$\varphi_{\text{вп}}$ t	$\varphi_{\text{вп}}$ p	$\varphi_{\text{вп}}$ Бета (?)	$\varphi_{\text{вп}}$ Ст. помил.2
Вільн.член	7,4168	2,39861	3,0921	0,0307	-	-
m_p	0,4932	0,00985	50,0842	0,0	0,9997	0,01996
n_p	0,0051	0,00957	0,5313	0,5313	0,0106	0,01996

Величина $p = 0,597$ неприйнятна, при заданому $p = 0,05$, а прийнятна при $t = \sqrt{F} = \sqrt{0,2823} = 0,531 < t_{\text{табл}} = 12,7$.

Таким чином, вплив коливання частоти обертання на кут упорскування незначний, тому подальший аналіз слід проводити для одного фактору навантажувальної характеристики – положення рейки ПНВТ m_p .

Аналогічні результати отримані й для інших параметрів паливоподачі $p_{\text{ф.к}}$ й p_n – тиску в паливному каналі форсунки й тиску палива в штуцері паливного насоса.

Дослідження статистичних параметрів впливу взаємозв'язку характеристик упорскування палива при роботі системи паливоподачі показали нелінійну залежність (p_n , $p_{\text{ф.к}}$) від m_p , що послужило підставою для побудови однофакторної моделі другого порядку у формі регресійного рівняння $p_n = f(m_p, m_p^2)$, $p_n = 12,454 + 30,272m_p - 0,47403m_p^2$. Статистичні параметри даного регресійного рівняння наведені в таблицях: одномірні критерії значимості табл.3; оцінки параметрів табл.4; 'SS моделі й SS залишків', що характеризують модель у цілому табл.5.

Статистичні дані моделі $p_n = f(m_p, m_p^2)$

Таблиця 3

Одномірні критерії значимості для p_n					
Ефект	SS	Ступені волі	MS	F	p
Вільн.член	425,0	1	425,0	4,097	0,047655
m_p	104825,3	1	104825,3	1010,448	0,00
m_p^2	23519,2	1	23519,2	226,710	0,00
Помил.	5913,3	57	103,7	-	-

Таблиця 4

Оцінки параметрів						
Ефект	p_n Парам .	p_n Ст.пом ил.	p_n t	p_n р	p_n Бета (?)	p_n Ст.поми л.2
Вільн.член	12,454	6,153269	2,0241	0,047655	-	-
m_p	30,272	0,952339	31,7875	0,0	1,833541	0,057681
m_p^2	- 0,47403	0,031483	- 15,0569	0,0	- 0,868498	0,057681

Таблиця 5

SS моделі й SS залишків для p_n											
Залежна змінна	множинна R	множинна R2	Скоригована R2	SS моделі	сс моделі	MS моделі	SS залишку	сс залишку	MS залишку	F	p
$p_{н, бар}$	0,9964	0,9928	0,9925	810051	2	405025	5913,25	57	103,74	3904,2	0,0

Формування й аналіз моделі $p_{ф.к}=f(m_p, m_p^2)$ виконаний за аналогічною методикою. Модель однофакторного регресійного рівняння другого порядку має вигляд: $p_{ф.к}= 124,69 + 24,354m_p - 0,4326m_p^2$.

Формування й аналіз моделі $\varphi_{вп}=f(m_p)$ виявилося достатнім однофакторного лінійного рівняння першого порядку $\varphi_{вп} = 8,6895 + 0,48992m_p$.

Усі статистики, що характеризують значимість вище наведених рівнянь та їх коефіцієнти, задовольняють критичним значенням F – критерію йт– статистики. Отже, моделі кута упорскування й тиску палива у форсунці є значущі.

Статистичний аналіз гідродинамічних показників на швидкісній характеристиці виконаний за експериментальними даними, представленими у роботі [12].

Аналіз статистичних моделей для швидкісної характеристики представлений залежностями: $\varphi_{\text{вп}} = f(n_p)$; $p_n = f(n_p)$; $p_{\text{ф.к}} = f(n_p)$. Сформовані моделі рівняння простої регресії першого порядку: $\varphi_{\text{вп}} = 5,84418 + 0,050926n_p$; $p_n = -25,853 + 2,2756n_p$; $p_{\text{ф.к}} = -40,332 + 2,1818n_p$, статистично значимі (за критерієм Фішера).

Висновки

Результати моделювання показали статистичну значимість і можливість використання для оцінки швидкісної та навантажувальної характеристик суднового середньобертового дизеля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патрахальцев Н.Н. Влияние переходных процессов в топливной аппаратуре дизеля на его динамические качества / Н.Н. Патрахальцев, М.Н. Пономарёв, А.А. Савастенко // Вестник РУДН, сер. Инженерные исследования. – 2003. №1. – С. 15-18.
2. Патрахальцев Н.Н. Влияние переходных процессов в топливной аппаратуре на динамические свойства дизеля // Известия ВУЗов. – Машиностроение. – 1987. № 4. – С. 65- 0.
3. Овчаренко С.М. Влияние переходных процессов на расход топлива дизелем в эксплуатации / С.М. Овчаренко, П.С. Корнеев, В.А. Четвергов // Известия Транссиба. 2012. №1(9). С. 27-32.
4. Хомич А.З. Экономия топлива и теплотехническая модернизация локомотивов / А.З. Хомич, О.И. Тупицын, А.Э. Симсон – М: Транспорт, 1975. – 264 с.
5. Щегло В.А. Функциональное диагностирование топливной аппаратуры в перспективной системе гибкого ремонтно-обслуживающего воздействия / В.А. Щеглов // Вестник науки и образования Северо-Запада России 2016, Т. 2, № 4. С. 1 - 7.
6. Блинов П.Н. Применение математической модели процесса топливоподачи топливной аппаратурой тепловозных дизелей для многовариантных расчетов / П.Н. Блинов, А.П. Блинов // Известия Транссиба №3(19). 2014. С. 2 - 7.

7. Фомин, Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей [Текст] / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский – М. : Машиностроение, 1982 – 168 с.

8. Блинов А.П. Разработка математической модели совместной работы топливной аппаратуры высокого давления и регулятора частоты вращения коленчатого вала дизеля / А.П. Блинов, П.Н. Блинов, П.А. Бернс // Известия Транссиба №3(31). 2017. С. 12 - 22.

9. Троицкий А.В. Компьютерное моделирование топливоподачи в судовом среднеоборотном четырехтактном дизеле / А. В. Троицкий // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2009. № 2. С. 188-191.

10. Иванченко А.А. Проблемы и опыт математического моделирования экологических и эксплуатационных показателей судового высокооборотного дизеля м482 / А.А. Иванченко, И.А. Щенников // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. №3 (37). С. 166-173.

11. Половинка Э.М. Нагрузочная характеристика системы впрыскивания топлива судового среднеоборотного дизеля в условиях динамических испытаний / Э.М. Половинка, Н.В. Слободянюк // Technology audit and production reserves. – 2018. – № 6/1(44). – С. 41-49.

12. Половинка Э.М. Скоростные характеристики системы топливоподачи судового среднеоборотного дизеля на переменных режимах / Э.М. Половинка, Н.В. Слободянюк // Молодой ученый. – 2016. – № 3(43). – С. 735-740.

13. Сайт Державного підприємства Український інститут інтелектуальної власності (УКРПАТЕНТ), назва корисної моделі: Стенд для дослідження і регулювання паливної апаратури дизелів, номер - u201805581 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=255858>.