

*О.М. Клименко, В.О. Пильов, С.В. Обозний, О.М. Ломакін*

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

*Робота присвячена експериментальному дослідженню впливу регулювання температурного стану поршнів на еколого-економічні показники та надійність дизеля. Проаналізовано дані попередніх експериментальних та розрахункових досліджень в цьому напрямі. Описано експериментальний стенд та обрані режими випробувань. За результатами дослідження дані рекомендації щодо комплексного покращення показників екологічності та паливної економічності дизеля та обрано напрямок подальших досліджень.*

### Вступ

Для двигунобудування на сучасному етапі його розвитку характерною є стала тенденція до зростання рівня форсування двигунів. Це призводить до підвищення теплових та механічних навантажень їхніх деталей, зокрема поршнів, що сприймають значну частину теплоти, утвореної при згорянні палива. В свою чергу, вищезгадані явища можуть привести до відмов поршнів та спряжених з ними деталей. Для підтримки достатнього рівня надійності поршнів, з-поміж іншого, широко використовуються різноманітні способи їх примусового масляного охолодження.

Аналіз літературних джерел показав недоцільність застосування примусового масляного охолодження поршнів у всьому діапазоні експлуатаційних режимів з точки зору забезпечення достатнього рівня їх надійності [1-4].

Крім того, нерегульоване масляне охолодження поршнів призведе до їх переохолодження на неномінальних, часткових режимах навантаження, наслідком чого може бути погіршення паливної економічності, збільшення концентрації продуктів неповного згорання в відпрацьованих газах тощо.

Очевидно, покращення показників екологічності та паливної економічності дизелів при підтриманні достатнього рівня надійності конструкції неможливе без впровадження систем автоматичного регулювання (САР) теплового стану поршнів (ТСП) двигунів внутрішнього згорання.

Крім того, в роботах [5, 6] було встановлено позитивний вплив гальваноплазмених покриттів днища поршня та поверхні камери згорання на показники екологічності, паливної економічності та надійності транспортних дизелів.

В роботі проаналізовано можливість комплексного покращення еколого-економічних показників дизеля 4ЧН12/14 шляхом впровадження САР ТСП при одночасному керуванні кутом випередження подачі палива та застосуванні низькотеплопровідного покриття поверхні камери згорання.

### Аналіз публікацій

Результати роботи [7] показали, що відключення охолодження поршнів транспортного дизеля типу ЧН21/21 на режимах холостого ходу та малих навантажень спричинило покращення паливної економічності та знизило вміст продуктів неповного згорання у відпрацьованих газах. Встановлено, що відключення охолодження поршнів призводить до інтенсифікації процесів випаровування палива та сумішоутворення. Крім цього, скорочується період затримки спалахування, що збільшує повноту згорання.

Випробування САР ТСП на дизелі ЧН26/26 [8] показали зменшення питомої витрати палива на  $3\div 5$  г/(кВт·год) при  $N_e \leq 0,5N_{e,ном}$ , зменшення витрати палива на холостому ході до  $9\div 12\%$  та зменшення димності відпрацьованих газів у 2 рази.

Робота [1] була присвячена дослідженню використання САР ТСП на дизелі типу ЧН13/11,5 та виявила зменшення димності на часткових режимах на  $20\div 50\%$ , годинної витрати палива – на  $1\div 3\%$  та збільшення довговічності поршня на  $30\%$ , що обумовлено підігрівом поршня на холостому ході та відповідним зменшенням розмахів термічних навантажень при перехідних процесах.

З іншого боку, роботи [3, 4] встановили, що для підтримання достатнього рівня надійності конструкції доцільно підвищувати температури поршня на часткових режимах роботи ДВС при незміненому рівні його температури на важких режимах, що може бути реалізовано при застосуванні САР ТСП. В [9] показано, що збільшення температури кромки камери згорання поршня на часткових режимах при менших частотах обертання колінчастого валу дозволяє підвищити ресурсну міцність кромки практично в 2 рази.

### Мета роботи

На основі результатів моторного експерименту встановити основні закономірності впливу регулювання ТСП та керування кутом випередження подачі палива на еколого-економічні показники транспортного дизеля з низькотеплопровідним покриттям стінок камери згорання.

**Основний матеріал**

Експериментальне дослідження виконано на дослідному зразку автотракторного дизеля типу 4ЧН12/14 в лабораторії кафедри ДВЗ НТУ «ХПІ». Схема стенду представлена на рис. 1.

На дизелі використовуються поршні з низькотеплопровідним покриттям поверхні камери згоряння (шар корунду  $Al_2O_3$  товщиною 0,05 мм). Поршень другого циліндра, вогневе днище головки циліндрів та гільза препаровані хромель-алюмелевими термопарами (рис. 2).

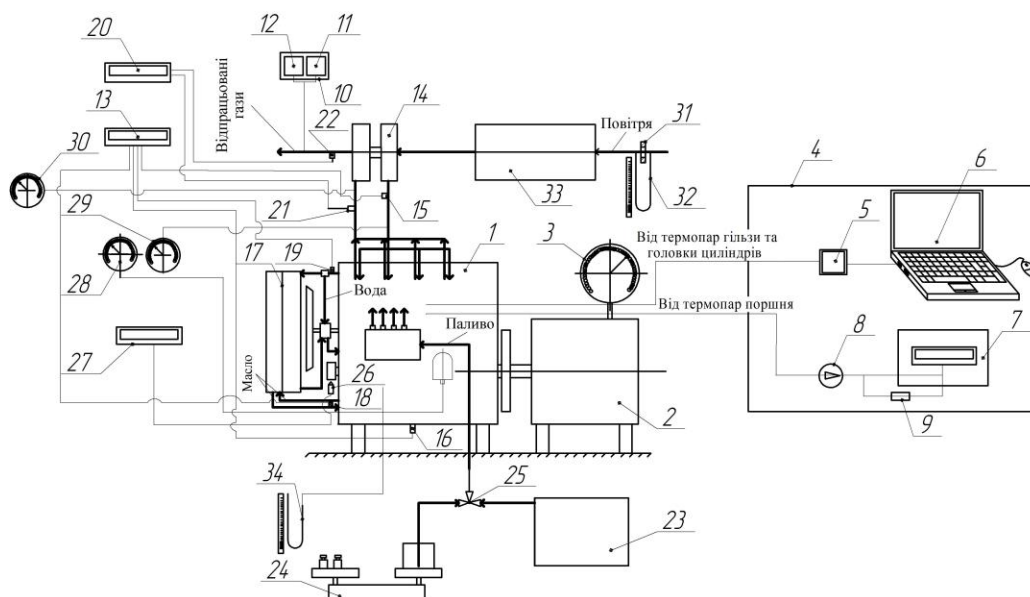


Рис. 1. Схема стенду із дослідним двигуном:

1 – двигун 4ЧН12/14; 2 – електричний навантажувальний пристрій; 3 – ваговий пристрій ВКМ-57; 4 – вимірювальний комплекс для реєстрації температур поршня, головки та гільзи циліндрів; 5 – модуль вводу сигналів від термопар Advantech USB-4718; 6 – ПК із відповідним програмним забезпеченням; 7 – цифровий прилад А565; 8 – перемикач; 9 – конденсатор; 10 – вимірювальний комплекс для оцінювання екологічності ДВЗ; 11 – газоаналізатор ОКСИ 5М; 12 – димомір ИНФРАКАР- Д; 13 – вимірювальний комплекс для реєстрації температур води, масла, повітря після компресора; 14 – турбокомпресор; 15, 16 – термометри опору ТСМ 6097 50-150 °С; 17 – радіатор; 18, 19 – термометр опору ТСМ 0879 50-200 °С; 20 – вимірювальний комплекс для реєстрації температур відпрацьованих газів до та після турбіни; 21, 22 – термоелектричні пірометри Т-1 ГРЗ НК-СА ИП12236 та Т-6 ГР НЖ-СК ИСО2682; 23 – бак з паливом; 24 – ваговий пристрій для вимірювання витрати палива; 25 – триходовий кран; 26 – індуктивний датчик частоти обертання колінчастого валу; 27 – електронний тахометр 7ТЭ клас точності 0,02; 28 – манометр вимірювання тиску масла клас точності 2,5; 29, 30 – манометри 11021 клас точності 0,4; 31 – мірна шайба  $d_c=54,1$  мм; 32 – U-подібний манометр; 33 – повітряний ресивер; 34 – U-подібний манометр

Вимірювальний комплекс для реєстрації температур поршня, головки та гільзи циліндрів 4 включає: струмознімаючий пристрій з переривчастою передачею сигналу від термопар поршня, цифровий прилад А565 (7), модуль вводу сигналів від термопар головки та гільзи циліндрів Advantech USB-4718 (5), персональний комп'ютер IBM PC (6) та спеціальне програмне забезпечення, розроблене у середовищі LabView.

Можливість регулювання подачі масла форсунками струминного охолодження поршнів забезпечувалась встановленням розроблених запірних органів в форсунки. Для вимірювання показників екологічності ДВЗ використовувався вимірювальний комплекс 10, що включає в себе газоаналізатор ОКСИ 5М (11) та димомір ИНФРАКАР-Д (12). Для

здійснення аналізу відпрацьованих газів у випускний колектор після турбокомпресора введено зонд з газовідбірником. Калібрування газоаналізатора виконувалось за допомогою балонів з еталонними газовими сумішами.

Вимірювання витрати палива здійснюється за допомогою вагового пристрою 24.

Окрім реєстрації означених вище параметрів також здійснювалось вимірювання режимних показників роботи дизеля.

Для оцінювання впливу регульованого ТСП на показники екологічності, економічності та надійності ДВЗ в діапазоні експлуатаційних режимів його роботи було обрано програму експериментального дослідження, подану в табл. 1.

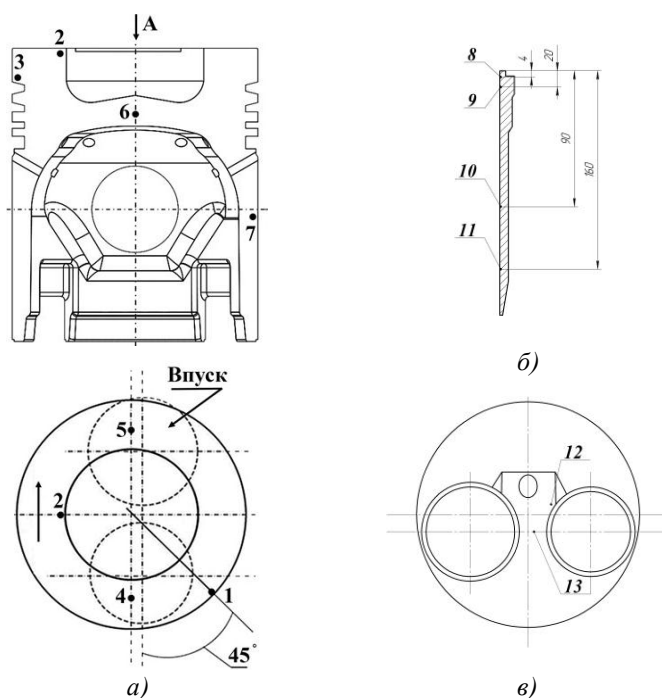


Рис. 2 Схеми встановлення термопар в поршні (а), гільзі (б) та вогневому днищі головки циліндрів (в)

Таблиця 1. Режими експериментального дослідження

№ режиму	$n = 1200 \text{ хв}^{-1}$		№ режиму	$n = 1500 \text{ хв}^{-1}$		№ режиму	$n = 1800 \text{ хв}^{-1}$	
	$P_{T_2}$ , кг	$p_e$ , МПа		$P_{T_2}$ , кг	$p_e$ , МПа		$P_{T_2}$ , кг	$p_e$ , МПа
1	0	5	4	0	5	7	0	5
2	27,5	0,38	5	27	0,38	8	27	0,38
3	55	0,75	6	55	0,75	9	55	0,75

Експериментальні випробування повторювалися при включеному та вимкненому охолодженні поршнів маслом за обраних установочних кутів випередження впорскування палива  $\Theta$ , які дорівнювали 18, 21 та 24 гр.п.к.в. до ВМТ.

Реєстрація досліджуваних показників здійснювалася при ustalених значеннях температур від-

працьованих газів і поршня.

Режими експериментального дослідження відповідають можливості проведення регресійного аналізу результатів експерименту.

Результати експериментального дослідження наведено в табл. 2–5.

Таблиця 2. Параметри роботи дизеля, температурний стан поршня, гільзи та головки циліндрів при  $\Theta = 18$  гр.п.к.в., охолодження поршнів ввімкнено

$n, \text{ хв}^{-1}$	$p_e$ , МПа	$p_s$ , МПа	$t_T$ , °C	$t_{op}$ , °C	$t_M$ , °C	Температури поршня в контрольних точках, °C												
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1200	0,01	0,102	140,5	75,8	58,8	109,7	111,1	98,2	114,8	106,7	92,9	76,3	99,9	92,0	76,1	77,8	113,8	113,2
	0,38	0,105	317,2	77,5	63,1	144,4	149,5	124,3	152,4	147,3	121,6	85,6	122,6	108,5	78,8	82,7	154,9	154,2
	0,75	0,118	541,5	82,3	69,5	177,3	193,5	150,4	190,0	187,8	150,2	94,9	149,8	130,5	85,2	90,0	211,2	213,7
1500	0,01	0,102	71,5	76,0	65,3	121,8	122,6	106,9	124,5	116,9	102,2	82,9	104,6	95,1	78,8	80,0	122,2	122,4
	0,38	0,119	371,1	78,9	69,0	156,9	161,0	132,0	165,3	154,2	127,8	90,2	132,4	115,8	81,7	85,7	166,0	166,3
	0,75	0,144	565,4	84,3	75,0	186,9	199,4	153,5	200,3	191,5	153,5	97,5	165,9	142,0	88,1	92,8	224,6	224,1
1800	0,01	0,106	212,9	78,8	70,1	133,6	134,9	115,8	137,8	127,3	111,7	87,7	113,2	102,6	81,4	84,3	139,5	137,9
	0,38	0,136	394,2	80,4	73,6	165,2	171,7	136,5	177,5	163,0	136,8	95,2	146,2	126,1	85,2	89,5	183,8	183,6
	0,75	0,181	585,6	84,4	78,7	196,8	208,6	157,2	217,3	198,7	162,0	102,8	179,3	156,2	92,1	95,2	249,8	246,7

Таблиця 3. Параметри роботи дизеля, температурний стан поршня, гільзи та головки циліндрів при  $\Theta = 18$  гр.п.к.в., охолодження поршнів вимкнено

$n, \text{хв}^{-1}$	$P_e, \text{МПа}$	$P_s, \text{МПа}$	$t_T, \text{°C}$	$t_{op}, \text{°C}$	$t_M, \text{°C}$	Температури поршня в контрольних точках, °C												
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1200	0,01	0,102	144,9	75,4	59,4	114,1	114,9	103,6	114,8	109,9	103,9	82,8	98,5	90,9	76,4	79,3	110,1	112,7
	0,38	0,106	322,7	77,7	64,4	150,1	159,2	133,6	154,5	150,6	138,1	93,3	121,3	108,6	79,7	84,5	154,3	155,1
	0,75	0,118	539,6	85,3	65,3	181,6	203,6	163,7	194,2	191,4	172,3	103,9	155,2	135,8	90,3	95,7	216,9	216,5
1500	0,01	0,102	173,7	76,9	63,5	124,3	130,1	113,6	127,2	120,5	114,3	87,5	106,9	97,2	79,1	82,9	122,3	122,8
	0,38	0,118	376,6	79,6	69,1	160,2	170,6	141,8	170,2	159,2	143,9	95,9	134,8	118,7	82,7	88,4	169,4	167,8
	0,75	0,144	565,6	85,5	70,9	191,7	211,2	166,2	206,6	197,9	173,4	104,2	168,1	145,2	91,8	97,4	230,5	225,8
1800	0,01	0,106	215,0	78,7	69,8	137,5	140,3	122,4	141,2	131,7	123,3	91,7	115,1	103,5	81,6	85,8	139,3	138,4
	0,38	0,136	397,8	81,0	73,9	169,1	178,9	144,2	181,8	169,0	151,1	99,5	147,7	128,0	85,5	90,1	183,5	182,8
	0,75	0,182	583,6	85,8	70,5	200,7	217,5	166,0	222,3	206,3	178,9	107,4	184,6	157,0	92,4	99,5	250,4	245,4

Таблиця 4. Параметри роботи дизеля, температурний стан поршня, гільзи та головки циліндрів при  $\Theta = 24$  гр.п.к.в., охолодження поршнів вимкнено

$n, \text{хв}^{-1}$	$P_e, \text{МПа}$	$P_s, \text{МПа}$	$t_T, \text{°C}$	$t_{op}, \text{°C}$	$t_M, \text{°C}$	Температури поршня в контрольних точках, °C												
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1200	0,01	0,102	132,3	75,7	56,6	109,0	110,8	97,6	114,5	106,8	93,9	76,5	99,3	90,9	76,4	78,5	113,9	113,1
	0,38	0,106	301,7	77,2	63,9	147,5	153,8	126,9	154,0	148,0	124,7	86,9	122,8	107,4	78,4	83,0	159,6	160,6
	0,75	0,118	512,5	81,1	71,0	180,9	200,5	156,1	193,4	189,3	155,5	97,3	144,6	126,1	83,9	89,6	216,9	219,4
1500	0,01	0,102	159,3	77,1	63,1	123,1	125,3	107,5	126,5	118,2	103,5	82,6	106,3	96,3	79,0	81,8	124,3	124,1
	0,38	0,118	349,3	78,6	68,3	159,4	163,1	133,4	170,7	156,7	131,6	91,2	133,2	115,6	81,7	86,5	175,3	174,5
	0,75	0,146	560,3	83,9	77,5	190,6	200,9	156,2	205,3	195,2	159,6	99,9	160,0	137,2	87,9	93,3	232,7	231,3
1800	0,01	0,106	195,7	79,1	68,6	136,5	135,6	117,3	140,8	131,7	114,3	87,8	114,4	103,1	82,6	85,7	141,7	140,5
	0,38	0,133	373,0	80,4	73,9	168,9	173,9	139,0	181,2	168,6	140,4	95,5	143,8	124,4	84,8	89,3	187,5	189,9
	0,75	0,176	539,5	84,4	80,2	201,4	212,3	160,6	221,7	205,6	166,6	103,2	173,3	152,6	92,4	97,0	252,0	250,2

Таблиця 5. Параметри роботи дизеля, температурний стан поршня, гільзи та головки циліндрів при  $\Theta = 24$  гр.п.к.в., охолодження поршнів вимкнено

$n, \text{хв}^{-1}$	$P_e, \text{МПа}$	$P_s, \text{МПа}$	$t_T, \text{°C}$	$t_{op}, \text{°C}$	$t_M, \text{°C}$	Температури поршня в контрольних точках, °C												
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1200	0,01	0,103	138,5	75,4	55,0	113,0	117,1	104,4	114,8	110,1	103,5	82,5	99,5	91,2	76,6	80,0	111,8	112,6
	0,38	0,107	310,3	77,0	61,5	151,9	162,9	135,5	158,7	151,9	144,2	93,5	122,4	108,9	79,8	84,9	158,7	160,7
	0,75	0,119	520,5	83,5	64,3	185,2	208,7	166,5	195,8	193,7	176,7	104,4	148,9	130,9	87,8	92,8	214,7	218,9
1500	0,01	0,103	163,6	76,4	60,0	125,2	131,3	113,3	128,2	121,2	115,0	88,4	106,6	96,8	79,0	82,6	124,0	123,6
	0,38	0,117	352,1	78,8	66,9	162,0	173,6	143,1	172,6	161,8	145,5	96,6	132,1	115,9	82,2	87,8	172,4	172,9
	0,75	0,145	548,1	83,7	68,5	194,2	212,9	167,5	208,6	199,1	176,0	104,7	161,0	139,1	89,8	94,8	227,6	227,7
1800	0,01	0,107	198,9	78,7	64,6	138,3	142,2	122,9	143,1	134,0	125,8	91,5	115,1	103,8	83,2	87,0	141,6	140,2
	0,38	0,133	366,5	79,8	79,8	171,3	182,8	147,8	184,1	171,8	154,9	99,6	146,1	124,5	85,6	91,0	189,6	191,0
	0,75	0,176	532,0	84,7	74,1	204,4	223,3	172,8	225,1	209,5	184,1	107,7	177,1	154,0	94,5	97,4	253,6	251,2

З табл. 2–5 видно, що відключення масляного охолодження поршнів призводить до збільшення рівня температур поршня на  $5 \div 20$  °C, причому температури зон поршня, що безпосередньо контактують з охолодним маслом (т. 6, 7 табл. 2–5), зрос-

тають інтенсивніше, ніж температури зон із порівняно більшим рівнем температур (стілки камери згоряння, зона першого поршневого кільця). Це обумовлює вирівнювання загального рівня температур, що позитивно впливає на ресурсну міцність

конструкції.

Водночас, температури кромки камери згоряння дослідного двигуна (т. 2 табл. 2–5) зростають на 5÷13 °С.

У випадку, коли паливна апаратура ДВЗ передбачає керування кутом випередження подачі палива, при переході з  $\Theta = 18$  гр.п.к.в на  $\Theta = 24$  гр.п.к.в температури досліджуваних зон збільшуються на 3÷7 °С. При чому застосування регулювання масляного охолодження поршнів в цьому випадку зменшує перепад температур, особливо в зонах контакту з маслом (т. 6, 7 табл. 2–5), що також сприяє підвищенню ресурсної міцності конструкції.

При відключенні охолодження поршнів тепловідвід від поршнів в масло значно зменшується, особливо, при зростанні навантаження, тому рівень температур масла дещо знижується. Останнє свідчить, що регулювання теплового стану поршня може супроводжуватися регулюванням інтенсивності охолодження масла з метою підвищення його температур до оптимальних. Таке регулювання, наприклад, за рахунок продуктивності масляного насоса, сприятиме зменшенню механічних втрат двигуна, та, відповідно, покращенню його паливної економічності.

Для подальших досліджень на основі експериментальних даних отримано аналітичні залежності, які описують розподіл досліджуваних параметрів в залежності від середнього ефективного тиску  $p_e$ , частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n$ , кута випередження подачі палива  $\theta$  та ТСП:

– витрата палива та емісія  $NO_x$  – з використанням МНК у класичній постанові (матриця Грама) у вигляді поліному другого ступеня (рис. 3, 4):

$$y(p_e, n, \Theta) = b_0 + b_1 p_e + b_2 n + b_3 \Theta + b_{11} p_e^2 + b_{22} n^2 + b_{33} \Theta^2 + b_{12} p_e n + b_{13} p_e \Theta + b_{23} n \Theta;$$

– димність відпрацьованих газів – з використанням МНК у класичній постанові (матриця Грама) у вигляді  $N = 1 + p_e^{A(\Theta)} \cdot B(n, \Theta)$  (рис. 5).

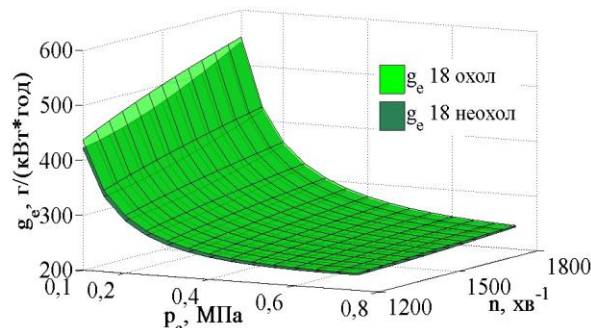


Рис. 3. Вплив масляного охолодження поршнів на питому ефективну витрату палива ( $\Theta = 18$  гр.п.к.в.)

Дослідження показало, що зростання температури стінки камери згоряння, яке відбувається при відключенні масляного охолодження поршнів, позначається на питомій ефективній витраті палива при її зменшенні до 28 г/кВт·год на часткових режимах навантаження двигуна (рис. 3).

Дані експериментального дослідження впливу регулювання температурного стану поршня на екологічні показники двигуна показують, що при відключенні охолодження поршнів відбувається зростання вмісту оксидів азоту сумарних у відпрацьованих газах дизеля, яке зі збільшенням  $\Theta$  та при зменшенні  $n$  стає суттєвим (рис. 4).

Крім того, збільшення  $\Theta$  покращує паливну економічність ДВЗ.

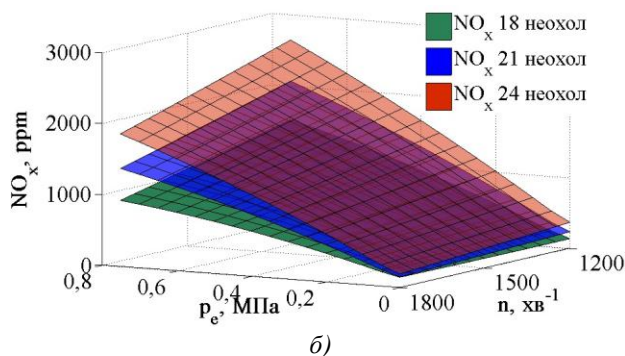
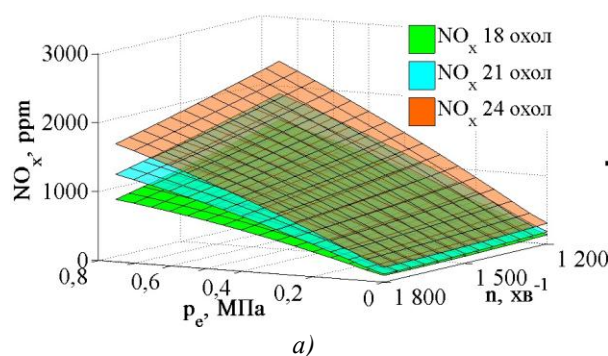


Рис. 4. Вплив масляного охолодження поршнів на емісію оксидів азоту: а) охолодження ввімкнено; б) охолодження вимкнено

Дослідження показало, що відключення призводить до зменшення димності відпрацьованих газів (рис. 5), що зафіксовано в усьому діапазоні

експлуатаційних режимів (на режимах номінального навантаження – до 11 %).

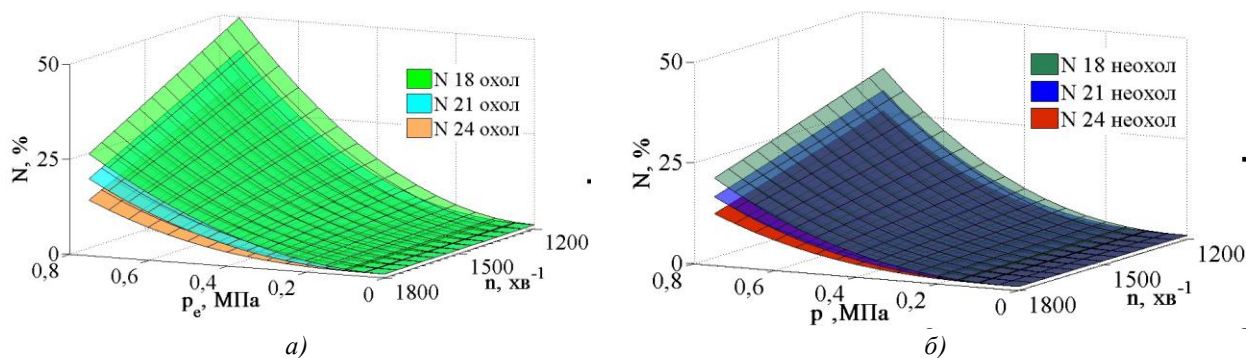


Рис. 5. Вплив масляного охолодження поршнів на димність відпрацьованих газів:  
а) охолодження ввімкнено; б) охолодження вимкнено)

З рис. 5 видно, що при зменшенні частоти обертання колінчастого валу дизеля димність його відпрацьованих газів збільшується при всіх  $\Theta$ . Разом із тим при збільшенні  $\Theta$  димність зменшується по всьому діапазону експлуатаційних режимів роботи

#### Висновки

За результатами проведеного експериментального дослідження можна зробити висновок, що відключення струминного охолодження поршнів має позитивний комплексний вплив на показники паливної економічності, екологічності та надійності дизеля в усьому діапазоні його навантаження, в тому числі при керуванні кутом випередження подачі палива.

Проте, є необхідним дослідження режимів навантаження двигуна, за яким доцільне відключення масляного охолодження поршнів з метою комплексного покращення еколого-економічних показників дизеля, а також його надійності.

Результати проведеного експериментального дослідження будуть використані як вихідні дані для систематизації та обґрунтування шляхів комплексного підвищення ефективності робочого циклу, екологізації, теплового стану та забезпечення ресурсної міцності деталей транспортних ДВС, вибору шляхів удосконалення системи автоматичного регулювання дизеля.

#### Список літератури:

1. Шеховцов А.Ф. Исследование теплового состояния поршня тракторного дизеля : автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук : спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» – Харьков, 1978. – 47 с. 2. Минак А.Ф. Улучшение показателей форсированного тракторного дизеля путем регулирования масляного охлаждения поршней: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.Ф. Минак – Харьков, 1982. – 21 с. 3. Матвеенко В.В. Влияние регулируемого струйного масляного охлаждения поршня на ресурсную прочность кромки его камеры сгорания // В.В. Матвеенко., В.Т. Турчин, В.А. Пылев [и др.]

// Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів». - Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №21. – С. 29–33. 4. Пильов В.О. Попередня оцінка резервів підвищення ресурсної міцності поршня при використанні систем автоматичного регулювання його масляного охолодження / В.О. Пильов, О.М. Клименко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 14 (1057). – С. 83–88. 5. Парсаданов І.В. Оцінка впливу гальваноплазменного покриття поршня на викиди твердих часток з відпрацьованими газами дизеля / І.В. Парсаданов, А.П. Полив'ячук // Двигуни внутрішнього згорання. – 2009. – №2. – С. 94-96. 6. Шпаковский В.В. Влияние корундовой поверхности поршня дизеля тепловоза ЧМЭ-3 на эксплуатационные характеристики цилиндропоршневой группы / Шпаковский В.В., Осейчук В.В. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №2 – С. 101-105. 7. Вейнблат М.Х. Отключение охлаждения поршней на частичных режимах – резерв улучшения эксплуатационных показателей форсированного турбопоршневого дизеля / М.Х. Вейнблат, В.Ю. Быков // Двигателестроение. – 1985. – № 6. – С. 20–21. 8. Богомольный Е.С. Исследование системы регулирования температуры масла транспортных дизелей с охлаждаемыми поршнями : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / Богомольный Ефим Соломонович. – Л., 1976. – 17 с. 9. Матвеенко В.В. Оцінка ресурсної міцності поршня у САПР з урахуванням експлуатаційних режимів роботи двигуна / В.В. Матвеенко, В.О. Пильов, О.М. Клименко [та ін.] // Двигуни внутрішнього згорання. – 2012. – №1. – С. 120–123.

#### Bibliography (transliterated):

1. Shehovcov A.F. Issledovanie teplovogo sostojanija porshnja traktornogo dizelja : avtoref. dis. na soiskanie uch. stepeni dokt. tehn. nauk: spec. 05.04.02 «Teplovyje dvigateli» – Har'kov, 1978. – 47 s. 2. Minak A.F. Uluchshenie pokazatelej forsirovannogo traktornogo dizelja putem regulirovanija masljanogo ohlazhdenija porshnej: avtoref. dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.04.02 «Teplovyje dvigateli» / A.F. Minak – Har'kov, 1982. – 21 s. 3. Matveenko V.V. Vlijanie reguliruemogo strujnogo masljanogo ohlazhdenija porshnja na resursnuju prochnost' kromki ego kamery sgoranija // V.V. Matveenko., V.T. Turchin, V.A. Pylev [i dr.] // Visnyk nacional'nogo tehničnogo univertyetu «Harkiv's'kyj politehničnyj instytut». Zbirnyk naukovykh prac'. Tematyčnyj vypusk «Innovačijni doslidzhennja u naukovykh robotah studentiv». - Harkiv: NTU «HPI». – 2011. – №21. – С. 29–33. 4. Pyl'ov V.O. Poperednja ocinka rezerviv pidvyshhennja resursnoji micnosti porshnja pry vykorystanni system avtomatychnogo reguljuvannja

jogo masljanogo oholodzhennja / V.O. Pyl'ov, O.M. Klymenko // *Visnyk NTU «HPI»*. Serija: *Transportne mashynobuduvan-nja*. – H.: NTU «HPI». – 2014. – №14 (1057). – S. 83–88. 5. Parsadanov I.V. Ocinka vplyvu gal'vanoplazmennogo pokryttja porshnja na vykydy tverdyh chastok z vidprac'ovanymy gazamy dyzelja / I.V. Parsadanov, A.P. Polyv'janchuk // *Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja*. – 2009. – №2. – S. 94–96. 6. Shpakovskij V.V. Vlijanie korundovoj poverhnosti porshnej dizelja teplovoza ChMJe-3 na jekspluatacionnye harakteristiki cilindro-porshnevoj grupy / Shpakovskij V.V., Osejchuk V.V. // *Dvigateli vnutrennego sgoranija*. – 2007. – №2 – S. 101–105. 7. *Vejnblat M.X. Otklju-chenie ohlazhdenija porshnej na chastichnyh rezhimah – rezerv*

*uluchshenija jekspluatacionnyh pokazatelej for-sirovannogo turboporshnevoego dizelja / M.X. Vejnblat, V.Ju. Bykov // Dvigatelistroenie*. – 1985. – №6. – S. 20–21. 8. Bogomol'nyj E.S. *Issledovanie sistemy regulirovanija temperatury masla transportnyh dizelej s ohlazhdaenyimi porshnjami : avtoref. dis. na sois-kanie uch. stepeni kand. tehn. nauk : spec. 05.04.02 «Tep-lovyje dvigateli» / Bogomol'nyj Efim Solomonovich*. – L., 1976. – 17 s. 9. *Matvjejenko V.V. Ocinka resursnoi' micnosti porshnja u SAPR z urahuvannjam ekspluatacijnyh rezhymiv roboty dvyguna / V.V. Matvjejenko, V.O. Pyl'ov, O.M. Klymenko [ta in.] // Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja*. – 2012. – №1. – S. 120–123.

Надійшла до редакції 02.07.2015 р.

**Клименко Олександр Миколайович** – аспірант кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: klim23051987@rambler.ru.

**Пильов Володимир Олександрович** – доктор техн. наук, професор, професор кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

**Обозний Сергій Володимирович** – науковий співробітник кафедри двигуни внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

**Ломакін Олександр Миколайович** – канд. техн. наук, доцент кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

*А.Н. Клименко, В.А. Пылев, С.В. Обозный, А.Н. Ломакин*

Работа посвящена экспериментальному исследованию влияния регулирования температурного состояния поршней на их надежность и на эколого-экономические показатели дизеля. Проанализированы данные предыдущих экспериментальных и расчетных исследований в этом направлении. Описан экспериментальный стенд и выбраны циклы испытаний. Выявлены закономерности указанного воздействия при учете модели эксплуатации транспортного средства и управлении углом опережения подачи топлива. По результатам исследования даны рекомендации по комплексному улучшению показателей экологичности и топливной экономичности дизеля и выбрано направление дальнейших исследований.

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE POSSIBILITY OF IMPROVEMENT ECOLOGICAL AND ECONOMIC INDICATORS AND RELIABILITY OF TRANSPORT DIESEL ENGINES

*O.M. Klymenko, V.O. Pyl'ov, S.V. Oboznyj, O.M. Lomakin*

The paper studies the experimental investigation of the influence of regulation the pistons temperature state on their reliability and on the ecological and economic indicators of diesel engine. Analyzed data from previous experimental and theoretical research in this direction. Described experimental stand and test cycles are selected. Revealed laws of this impact with allowance for the operation model of the vehicle and management of fuel supply advance angle. According to a study made recommendations for the complex improving of ecological compatibility performance and fuel efficiency of a diesel engine and selected the direction of future research.

УДК 621.43.016.4

*А.П. Марченко, В.В. Пильов*

### МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИСОКОЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ПОРШНЯ ДВЗ З ТЕПЛОІЗОЛЬОВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ

*У статті викладено методику моделювання тривимірного нестационарного високочастотного температурного стану теплоізольованого поршня, засновану на розбивці тіла поршня на області тривимірної стаціонарної та одновимірної нестационарної теплопровідності. Проаналізовано теплові потоки в поверхневому шарі поршня. Підтверджено допустимість прийнятого припущення щодо можливості знехтування їх складовою паралельною поверхні камери згоряння. Рекомендовано виділення збільшеної кількості зон задання граничних умов по поверхні камери згоряння порівняно до стаціонарної задачі теплопровідності.*

#### Постановка проблеми

Ефективне застосування частково-динамічної теплоізоляції (ЧДТ) поверхні камери згоряння (КЗ) поршня для покращення показників якості двигунів внутрішнього згоряння при їх проектуванні та до-

водці потребує моделювання нестационарного високочастотного температурного стану теплоізольованих поршнів.

Для розв'язання задач стаціонарної та аперіодичної низькочастотної теплопровідності поршня