

УДК 62-977

DOI: 10.30977/АТ.2219-8342.2018.43.0.12

## ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДИЗЕЛЯ НАЗЕМНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МАШИНИ

Марченко А. П., Федоров А. Ю., Ліньков О. Ю., Клімов В. Ф.,  
НТУ «ХПІ»

**Анотація.** Проаналізовано і обґрунтовано необхідність регулювання роботи системи охолодження дизеля наземної транспортної машини, показано, що відхилення температури теплоносіїв від оптимальної призводить до негативних наслідків в експлуатації дизеля. На основі експериментальних даних показано вплив зміни режиму роботи дизеля наземної транспортної машини з дизелем типу 5ТДФ на відхилення температур теплоносіїв від рекомендованих оптимальних.

**Ключові слова:** знос, дизель, температура, система охолодження, олива, вентилятор.

### Вступ

Сучасні вимоги до двигунів внутрішнього згоряння щороку стають жорсткішими, а сучасні тенденції вимагають високої потужності й економічності, це вимагає від виробника створення і модернізації конструкції двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та його систем. Стан розвитку технологій дозволяє створювати силові установки із системами дизеля, що мають гнучке ефективне регулювання параметрів. Регулювання систем та механізмів стало невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Енергозберігаючі технології скорочують витрати, покращують екологічну ситуацію в містах, це досягається завдяки сучасним системам керування. Механізм або система можуть певний час не використовуватись, або розрахункова потужність не доцільна при низькому навантаженні, тут система керування слідкує за входними параметрами і корегує виконавчим органом роботу. Кожен сучасний двигун може динамічно змінювати свої параметри, що обумовлює зміну параметрів тієї чи іншої системи. Однією з головних систем, що впливають на показники і надійність роботи ДВЗ, є система охолодження. Вітчизняна галузь двигунобудування мало розвинута у напрямі регулювання систем охолодження. Тому актуальною є задача аналізу існуючих силових установок наземних транспортних машин (НТМ) для оцінки доцільності регулювання.

### Аналіз публікацій

Кожна система має оптимальні параметри, і застосування регулювання даної системи дозволяє використовувати оптимально енергію та ресурси з мінімальними витратами. Об'єктом, що визначає принципи регу-

лювання системи охолодження, є ДВЗ. Система охолодження прямо визначає температуру охолоджуючої рідини, оливи, наддувочного повітря та ін. У джерелах [1, 2, 3] показано, що зміна температури охолоджуючої рідини в бік зростання приводить до покращення перетікання робочого процесу дизеля, зменшення витрати палива та скорочення шкідливого впливу на екологію.

За дослідженнями [4, 5] температура рідких теплоносіїв значно впливає на такий показник надійності, як довговічність, котрий визначається параметром зносу. В дослідженні визначено відносний знос циліндрів ( $\Delta$ ), що є відношенням глибини контрольного вдавлення до випробування і після випробування. Як видно з рис. 1, відносний знос зменшується в 5 раз за зростання температури охолоджуючої рідини на 85 °С, тому дуже важливо підтримувати оптимальне значення температури охолоджуючої рідини.

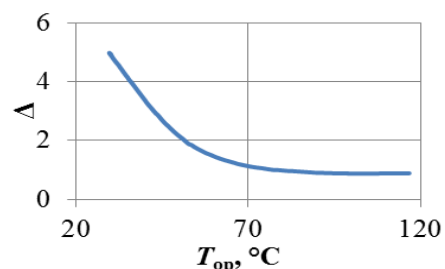


Рис. 1. Відносний знос циліндрів дизеля типу 2Д100 залежно від температури охолоджуючої рідини

### Мета і постановка завдання

Метою роботи є аналіз та обґрунтування необхідності впровадження регулювання системи охолодження транспортного дизеля наземної транспортної машини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: аналізуючи експериментальні дані досліджень наземної транспортної машини, обґрунтувати необхідність регулювання, показати, як відхилення температури охолоджуючої рідини впливають на надійність дизеля.

**Аналіз експериментальних даних дослідження дизеля із системою охолодження наземної транспортної машини**

Визначено, що температура теплоносіїв значно варіює на дольових режимах роботи ДВЗ. В літературному джерелі [6] стверджується, що при накиданні навантаження на дизель температура охолоджуючої рідини збільшується, а при скиданні – зменшується. Оскільки відбувається перерозподіл теплового потоку від робочого тіла, до теплоносіїв. А беручи до уваги збільшення зносу циліндрів, за низьких температур, можна дійти висновку, що для ДВЗ необхідним є підтримання певної оптимальної температури охолоджуючої рідини як мінімум та підтримка заданої робочої температури термічно напружених деталей – як максимум.

Розглянемо вітчизняні існуючі зразки ДП «ХКБД», а саме ДВЗ типу 5ТДФ. Підприємством розроблено дизель для модернізації НТМ під позначенням 5ТДФМА-1 (рис. 2) [7].

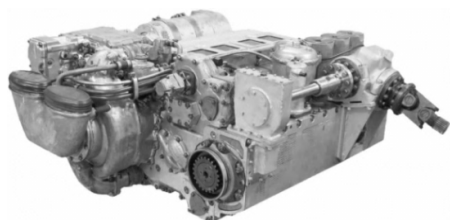


Рис. 2. Дизель 5ТДФМА-1 НТМ

Нижче в табл. 1 наведено основні технічні характеристики дизеля, вказані заводом-виробником.

Розглянемо конструктивні особливості його системи охолодження та випробування в умовах об'єкта та зробимо висновки про необхідність модернізації СОД та необхідність регулювання. Система охолодження даного дизеля у складі силової установки спрямована на відведення теплоти від оливи, що змащує та охолоджує бортові коробки передач, та теплоти, яка виділилась внаслідок згоряння палива в дизелі й була відведена охолоджуючою рідиною і моторною оливою. На рис. 3 схематично зображено систему охолодження охолоджуючої рідини.

Тут система охолодження є закритою, високотемпературною, із примусовою циркуляцією охолоджуючої рідини. Охолоджуючу рідину прокачує насос відцентрового типу, що приводиться від колінчастого вала дизеля, витрата охолоджуючої рідини визначається швидкісним режимом роботи дизеля і не має регулювання. Виконавчих механізмів та чутливих елементів, що керують роботою СОД для перерозподілу теплового потоку, відведеного з охолоджуючою рідиною, в дизелі не передбачено.

Таблиця 1 – Параметри дизеля 5ТДФМФ-1

Позначення	5ТДФМА-1	
Потужність, кВт	772	
Діаметр циліндра, мм	120	
Хід поршня, мм	2x120	
Число циліндрів	5	
Робочий об'єм, л	13,6	
Частота обертання колінчастого вала, хв <sup>-1</sup>	2850	
Габарити, мм:	довжина	1413
	ширина	955
	висота	581
Габаритна потужність, кВт/м <sup>3</sup>	989,0	
Питома маса, кг/кВт	1,3	
Літрова потужність, кВт/л	56,8	
Питома витрата палива, г/кВт·год	208,08	

Система змащення слугує не тільки для змащення, а й відведення теплоти від деталей та пар тертя (рис. 4). В системі є два електричні оливозакачувальні насоси, що використовуються перед запуском дизеля, але не активні під час його роботи. Основний оливозакачувальний насос системи змащення і оливодікачувальні насоси мають привод від колінчастого вала дизеля через механізм передач. Характеристики останніх визначаються частотою колінчастого вала та гідравлічним опором мережі, регулювання витрати оливи в системі охолодження відсутнє. Вентилятор створює розрідження після пакета теплообмінників, тим самим відбувається прокачування холодного повітря для відведення теплоти. Вентилятор не регульований, його продуктивність безпосередньо визначається частотою обертання колінчастого вала дизеля та гідравлічним опором повітряної мережі. На стенді ДП «ХКБМ» [8] проводилось дослідження параметрів силової установки НТМ з розглянутим дизелем 5ТДФМА-1. Результати досліджень зведено до табл. 2 та на рис. 5.

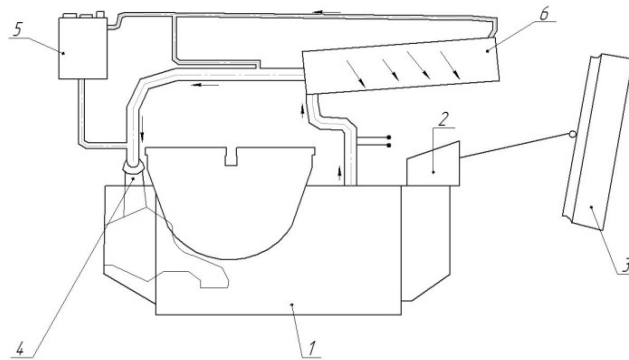


Рис. 3. Схема роботи системи охолодження охолоджуючої рідини дизеля типу 5ТДФ: 1 – дизель; 2 – привод вентилятора; 3 – вентилятор; 4 – насос охолоджуючої рідини; 5 – розширювальний бак; 6 – рідинні теплообмінники

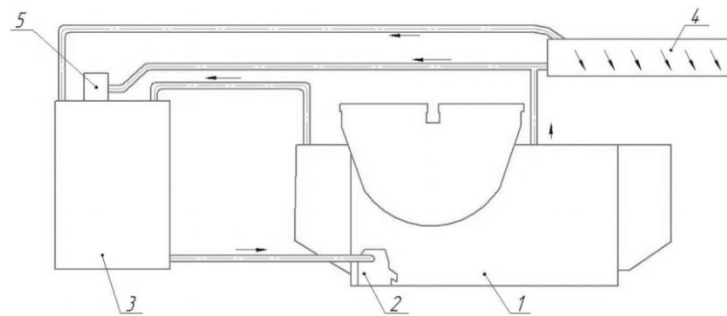


Рис. 4. Схема роботи СОД моторної оливи ДВЗ дизеля типу 5ТДФ: 1 – дизель; 2 – оливозакачувальний насос дизеля; 3 – бак моторної оливи; 4 – теплообмінники моторної оливи; 5 – перепускний клапан

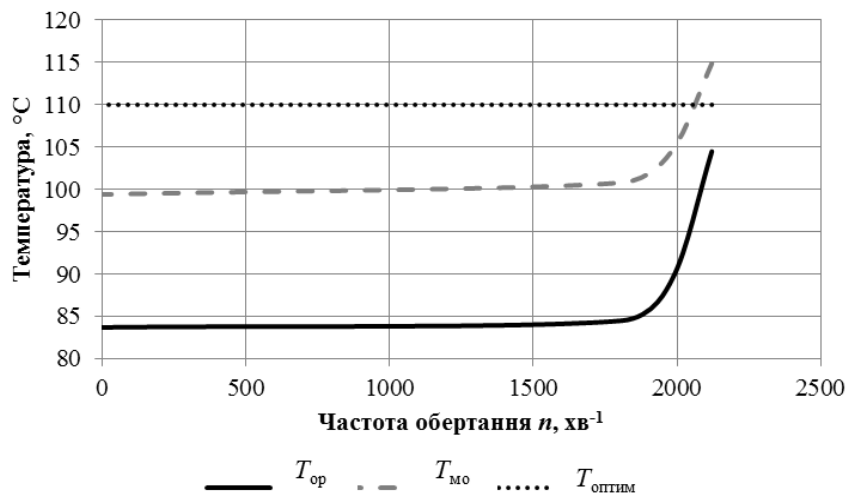


Рис. 5. Результати експерименту ДП «ХКБМ»: температури охолоджуючої рідини та оливи від частоти обертання і навантаження на дизель типу 5ТД

На рис. 5 зображено експериментальні графіки зміни температури моторної оливи й охолоджуючої рідини залежно від частоти обертання колінчастого вала дизеля відносно холостого ходу. На графіку також виділено криву  $T_{\text{оптим}}$ , що показує рекомендований

оптимальний рівень температури охолоджуючої рідини і оливи в СОД. З рисунка видно, що за відсутності регулювання роботи СОД температурні показники значно змінюються і суттєво відрізняються від рекомендованого значення.

Таблиця 2 – Експериментальні дані дослідження дизеля 5ТДФМА-1 у складі НТМ

$n_{двз}$ хв <sup>-1</sup>	$P$ %	$N$ кВт	$T_{ор}$ °С	$T_{мо}$ °С	$T_0$ °С	$T_{пов2}$ °С	$T_{пов1}$ °С
2852	27,2	139,0	76,5	82,7	15,5	15,7	50,4
2831	51,8	261,0	78,3	84,1	15,5	15,5	52,7
2815	78,0	391,2	80,9	85,4	15,5	15,3	54,1
2826	89,1	450,0	83,5	86,7	15,5	15,2	55,1
2863	99,7	509,6	97,3	95,8	15,6	15	62,6
2858	100,0	510,3	104,1	101,6	15,7	15	67,4
2876	88,8	455,1	105,9	103,9	15,8	15	69,3
2867	93,0	477,2	113,8	114	16,2	15,2	76,2
2870	88,8	455,1	114,2	115,2	16,2	15,2	77
2121	0,0	0,0	104,5	114,9	16,6	15,5	77,2
1983	0,0	0,0	89,4	104,6	16,6	15,5	69,7
2187	0,0	0,0	86,4	102,5	16,6	15,5	67,6
1807	0,0	0,0	84,5	100,8	16,6	15,5	66,2
0	0,0	0,0	83,7	99,4	16,6	15,6	65,1

У разі скидання частоти обертання колінчастого валу відхилення температури охолоджуючої рідини складає 26,3 °С а для оливи – 10,6 °С. На початку скидання частоти, що відповідає частоті 2121 хв<sup>-1</sup>, відхилення температури охолоджуючої рідини складає 5,5 °С а для оливи перевищує оптимальну на 4,9 °С. За помірного зменшення частоти обертання колінчастого валу відбувається інтенсифікація і надлишкове відведення теплоти через СОД, що пов'язано з неможливістю впливати на витрату повітря через вентилятор та на охолоджуючу рідину і моторну оливу. Як наслідок, це тягне за собою зниження температур теплоносіїв у цілому. Подібна зміна температури характерну разі скидання навантаження, тут тепловий потік до теплоносіїв знижується, за сталої кількості теплоти, відведеної теплообмінниками.

Низька температура теплоносіїв, як розглядалось вище, призводить до збільшення зносу циліндрів та погіршення надійності. Також варто зазначити, як було досліджено, низька температура теплоносіїв призводить до збільшення витрати палива дизелем.

Отже можна визначити, що розроблений дизель не має регулювання роботи СОД, тому температурні показники будуть суттєво змінюватись при змінах режимів, що негативно впливатиме на якісні показники роботи дизеля і його надійну роботу. Рекомендовано провести вдосконалення СОД шляхом регулювання витрати теплоносіїв: охолоджуючої

рідини, оливи та повітря, або комплексно, або індивідуально за конкретним теплоносієм. Такі заходи дозволять утримувати температуру теплоносіїв в оптимальному діапазоні та позитивно відобразяться на показниках силової установки в цілому.

### Висновки

1. Визначено, що підвищення температури дозволяє позитивно впливати на такий показник надійності, як знос.
2. Показано, що за зміни режиму роботи дизеля типу 5ТДФ температура теплоносіїв відрізняється від оптимальної в діапазоні від 5 до 26 °С.
3. Проаналізовано експериментальні дані роботи силової установки НТМ з дизелем 5ТДФМА-1 і визначено, що за зміни режимів роботи температури теплоносіїв вимагають впровадження регулювання.

### Література

1. Abdelghaffar WA, Osman MM, Saeed MN, Abdelfatteh AI. Effects of coolant temperature on the performance and emissions of a diesel engine. ASME. Internal combustion engine division spring technical conference, design, operation, and application of modern internal combustion engines and associated systems, Paper № ICES2002-464, 2002, pp. 187-197.
2. Burke, R. and Brace, C. The effects of engine thermal conditions on performance, emissions and fuel consumption, SAE technical paper 2010-01-0802, 2010.

3. Hossain, A. K., Smith, D. I., Davies, P. A., Effects of engine cooling water temperature on performance and emission characteristics of a compression ignition engine operated with biofuel blend, *J. sustain. dev. energy water environ. syst.*, 5(1), 2017, pp. 46-57.
4. Луков Н. М. Автоматическое регулирование температуры двигателей. / Луков Н. М. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.
5. Ливенцев Ф.Л. Высокотемпературное охлаждение поршневых двигателей внутреннего сгорания. / Ливенцев Ф.Л. М. - Л.: Машиностроение, 1964. - 204 с.
6. Теория и конструкция танка. Вопросы проектирования танковых силовых установок. Т. 4. – М. : Машиностроение, 1984, – 348 с.
7. Т-72УА1. Украинская модернизация советского танка [Электронный ресурс] / К. Рябов // Военное обозрение. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://topwar.ru/25263-t-72ua1-ukrainskaya-modernizaciya-sovetskogo-tank.html>.
8. Акт протоколу досліджень / ДП "ХКБМ" – Харків, 2012. – 2 с. № 387.

#### References

1. Abdelghaffar WA, Osman MM, Saeed MN, Abdelfatteh AI. Effects of coolant temperature on the performance and emissions of a diesel engine. ASME. Internal combustion engine division spring technical conference, design, operation, and application of modern internal combustion engines and associated systems, Paper №. ICES2002-464, 2002, pp. 187-197.
2. Burke, R. and Brace, C., "The effects of engine thermal conditions on performance, emissions and fuel consumption," SAE technical paper 2010-01-0802, 2010.
3. Hossain, A. K., Smith, D. I., Davies, P. A., Effects of engine cooling water temperature on performance and emission characteristics of a compression ignition engine operated with biofuel blend, *J. sustain. dev. energy water environ. syst.*, 5(1), 2017, pp. 46-57.
4. Lukov N. M. (1977). Avtomaticheskoe regulirovaniye temperatury dvigatelei [Automatic temperature control of engines]. Moscow, Russia: Mashynostroeniye [in Russian].
5. Lyventsev F.L. (1964). Vysokotemperaturnoe okhlazhdeniye porshnevyykh dvigatelei vnutrenneho shoraniya [High-temperature cooling of reciprocating internal combustion engines]. Moscow - Leningrad: Mashynostroeniye [in Russian].
6. Teoriya y konstruktsiya tanka. Tom 4: Voprosy proektyrovaniya tankovykh syloykh ustanovok [Theory and design of the tank. The issues of design of tank power plants. Vol. 4]. (Vols.1–8). (1984). Moscow, Russia: Mashynostroeniye [in Russian].
7. Riabov K. (2013). T-72UA1. Ukraynskaia modernyzatsiya sovetskoho tanka [T-72UA1.

Ukrainian modernization of the Soviet tank]. *Voennoe obozreniye – Military Review*. Retrieved from <https://topwar.ru/25263-t-72ua1-ukrainskaya-modernizaciya-sovetskogo-tank.html> [in Russian].

8. Акт протоколу досліджень №387 [Act of the protocol of research №387] (2012). Kharkiv: DP "KhKBM" [in Ukrainian].

**Марченко Андрій Петрович** – доктор техн. наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, вул. Кирпичева 2, e-mail : [marchenko@kpi.kharkov.ua](mailto:marchenko@kpi.kharkov.ua), +380577004034.

**Федоров Андрій Юрійович** – наук. співробітник кафедри ДВЗ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, вул. Кирпичева 2, e-mail: [smax.kh@gmail.com](mailto:smax.kh@gmail.com), +380662463883.

**Ліньков Олег Юрійович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ДВЗ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, вул. Кирпичева 2, e-mail: [linkov@kpi.kharkov.ua](mailto:linkov@kpi.kharkov.ua), +380509103528.

**Клімов Віталій Федорович** – професор кафедри колісних та гусеничних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, вул. Кирпичева 2, +380577076355.

#### Reasoning the necessity of regulating the operation of the vehicles diesel cooling system

**Abstract. Problem.** Modern requirements for internal combustion engines are becoming ever more stringent, and current trends require the manufacturer to have high power and economy. This pushes the manufacturer to create and upgrade the design of the internal combustion engine and its systems. Modern technologies allow the creation of high-tech internal combustion engines with electronic control systems that increase the efficiency of resource use, and improve environmental parameters. As a result, modern engines can dynamically change their parameters and adjust to the needs of consumers. One of the main systems that affect the performance of an internal combustion engine is the cooling system. The regulation of the cooling system allows maintaining the optimum temperature of the coolant. The low or periodically increasing and decreasing temperature of the coolant and oil leads to such consequences as increased wear of parts in friction pairs, an increase in fuel consumption and ineffective operation of the cooling system. **Goal.** Analyze and justify the need to regulate the diesel engine cooling system of the road vehicles. **Methodology.** Based on the experimental data, an analysis of the change in the temperature of the heat transfer media was carried out and a comparison was made with the optimum recommended temperature. **Result.** It is determined that with a

*change in the speed of the diesel engine's crankshaft and load, the temperature deviates, indicating that there are no measures aimed at regulating the temperature state of the diesel and the need to develop and implement a system for regulating the temperature of the heat carriers of the internal combustion engine. **Originality.** Estimation of temperature condition and substantiation of the necessity to regulate temperatures of heat carriers was not applied earlier to a diesel engine of 5TDF type. **Practical value.** This assessment will lay the foundation for the rationale for the development of a cooling system control for domestic diesel engines of the 5TDF type.*

**Key words:** *demolition, diesel, temperature, cooling system, oil, fan.*

**A. P. Marchenko, A. Y. Fedorov, O. Y. Linkov, V. F. Klimov, NTU "KhPI"**

**Обоснование необходимости регулирования работы системы охлаждения дизеля транспортной машины**

**Аннотация.** Проанализирована и обоснована необходимость регулирования работы системы охлаждения дизеля наземной транспортной машины, показано, что отклонение температуры теплоносителей от оптимальной приводит к негативным последствиям в эксплуатации дизеля. На основе экспериментальных данных показано влияние изменения режима работы дизеля наземной транспортной машины с дизелем типа 5ТДФ на отклонение температур теплоносителей от рекомендованных оптимальных.

**Ключевые слова:** *износ, дизель, температура, система охлаждения, масло, вентилятор.*

**Марченко А. П., Федоров А. Ю.,  
Линьков О. Ю., Климов В. Ф., НТУ «ХПИ»**

---