

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-248-255>

УДК 621.436

## Снижение расхода топлива дизеля типа 12ЧН15/18 путем регулирования системы охлаждения

А. Ю. Федоров<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (Харьков, Украина)

© Белорусский национальный технический университет, 2019  
Belarusian National Technical University, 2019

**Реферат.** Во многих странах в эксплуатации находится большое количество бронетехники, которая разрабатывалась и выпускалась десятки лет назад. В связи с этим возникает необходимость ее постоянной модернизации. Объектом исследования выбран двигатель внутреннего сгорания для наземной транспортной машины с дизельным двигателем типа 12ЧН15/18. Приведена внешняя скоростная характеристика этого дизеля, на основании которой произведен расчет составляющих его теплового баланса. Выполнен анализ теплового баланса дизеля наземной транспортной машины типа 12ЧН15/18 с разделением по: отведенной теплоте в окружающую среду от жидкости системы охлаждения; масла системы смазки двигателя внутреннего сгорания; эффективно использованной теплоте; теплоте, отведенной с отработавшими газами; остаточной части теплоты. Приведены характеристики изменения тепловыделения на нагрузочных режимах работы дизеля, показано влияние нагрузки дизеля на количество теплоты, отведенной охлаждающей жидкостью и маслом системы смазки дизеля. Рассмотрены два варианта исполнения системы охлаждения: с регулированием и без регулирования. Выполнена оценка влияния системы регулирования на характеристики системы охлаждения дизеля, параметры эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива. Доказана необходимость модернизации штатной вентиляторной системы охлаждения наземной транспортной машины с дизелем типа 12ЧН15/18. На режимах нагрузки 60 и 80 % исследовано влияние средней температуры охлаждающей жидкости и масла дизеля на эффективную мощность силовой установки с системой охлаждения вентиляторного типа. Определено, что повышение средних температур охлаждающей жидкости и масла дизеля типа 12ЧН15/18 позволяет улучшить экономичность и повысить мощность дизеля.

**Ключевые слова:** дизель, система охлаждения, регулирование, теплообменник, бронетехника, вентилятор

**Для цитирования:** Федоров, А. Ю. Снижение расхода топлива дизеля типа 12ЧН15/18 путем регулирования системы охлаждения / А. Ю. Федоров // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 3. С. 248–255. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-248-255>

## Reduction of Fuel Consumption in 12ЧН15/18-Type Diesel Engine by Regulating Cooling System

A. Yu. Fedorov<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (Kharkiv, Ukraine)

**Abstract.** Many countries exploit a large number of armored vehicles, developed and manufactured dozens of years ago. Due to this there is a necessity of its continuous modernization. An object of the research is an internal combustion engine for a ground armored vehicle with a 12ЧН15/18 diesel engine. Calculation of engine thermal balance components is based on an engine external speed characteristic. An analysis of thermal balance for a 12ЧН15/18-type diesel engine of a ground armored vehicles has been made with separation according to: heat being withdrawn from cooling system liquid to environment; oil of lubrication system in the internal combustion engine; efficiently used heat; heat being withdrawn along with exhausted gases; residual portion of heat. The paper presents characteristics on changes in heat release during loading modes of the diesel engine operation and also shows an influence of the diesel loading on amount of heat withdrawn by cooling water and oil

### Адрес для переписки

Федоров Андрей Юрьевич  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Кирпичева, 2,  
61002, г. Харьков, Украина  
Тел.: +38 057 707-69-02  
tma@tmm-sapr.org

### Address for correspondence

Fedorov Andrey Yu.  
National Technical University  
“Kharkiv Polytechnic Institute”  
2 Kyrpychova str.,  
61002, Kharkov, Ukraine  
Tel.: +38 057 707-69-02  
tma@tmm-sapr.org

of diesel lubrication system. Two versions of the cooling system are considered in the paper, namely: with regulation and without regulation. The paper contains description of evaluation pertaining to an influence of a regulating system on characteristics of the diesel cooling system, parameters of efficient power and specific and efficient consumption of fuel. The necessity has been proved to modernize a regular fan cooling system of the armored vehicle with the 12ЧН15/18-type diesel engine. An influence of an average cooling liquid and diesel oil temperature with loading modes of 60 and 80 % on the efficient power of a power unit with a fan-type cooling system has been investigated in the paper. It has been determined that an increase in average temperatures of cooling liquid and oil for the 12ЧН15/18-type diesel makes it possible to improve economy and power of the diesel engine.

**Keywords:** diesel, cooling system, regulation, heat exchanger, armored vehicle, fan-type cooling system

**For citation:** Fedorov A. Yu. (2019) Reduction of Fuel Consumption in 12ЧН15/18-Type Diesel Engine by Regulating Cooling System. *Science and Technique*. 18 (3), 248–255. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-3-248-255> (in Russian)

## Введение

Большое количество бронетехники, эксплуатируемой во многих странах мира, было спроектировано около 30 лет назад и более [1]. В общем, техника разрабатывалась, опираясь на достижения науки и техники полвека назад и, как следствие, требует должной модернизации. Системы дизелей не имели гибкого и эффективного регулирования. Главным требованием для них было только обеспечение работоспособности машины в условиях боя во всем диапазоне внешней скоростной характеристики дизеля. Современное состояние научных достижений позволяет улучшить показатели устаревшей техники путем использования микропроцессорных систем для управления исполнительными механизмами для достижения наибольшей эффективности. Поэтому актуальна задача предварительной оценки возможности улучшения характеристик силовой установки путем ее модернизации.

Цель исследований автора – анализ влияния регулирования штатной системы охлаждения дизеля типа 12ЧН15/18 в силовой установке наземной транспортной машины на расход топлива.

## Основная часть

Вопрос сокращения механических потерь транспортного дизеля типа 12ЧН15/18 требует

применения комплексного подхода для его решения. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) наземной транспортной машины (НТМ) является сложной механической системой, имеющей в своем составе большое количество агрегатов и механизмов для обеспечения работоспособности ДВС, которые, в свою очередь, имеют пары трения и приводят к потерям полезной работы.

ДВС НТМ рассматриваемого периода разрабатывались исходя из двух условий, которые предъявлялись к системе охлаждения, а именно: обеспечение работоспособности, надежности и ресурса в диапазоне от номинального режима работы до режима максимального крутящего момента и обеспечение стабильной работы силовой установки в диапазоне температур окружающей среды от минус 50 °С до плюс 50 °С [2]. На частичных режимах работы двигателя эффективность работы системы охлаждения не оценивалась, чтобы произвести модернизацию необходимо определить оптимальные режимы работы ее элементов [3].

По данным В. В. Епифанова и Р. В. Протасова [4] была построена скоростная характеристика дизеля типа 12ЧН15/18, а именно – кривые мощности и удельного расхода топлива (рис. 1).

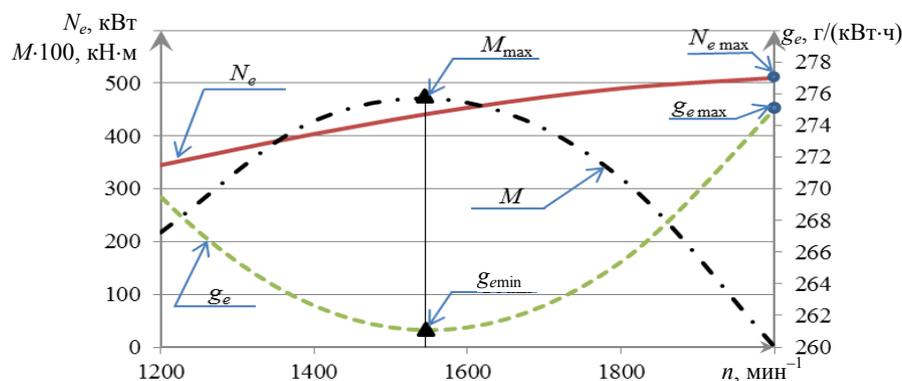


Рис. 1. Внешняя скоростная характеристика дизеля типа 12ЧН15/18

Fig. 1. External high-speed characteristics of 12ЧН15/18-type diesel engine

Эта характеристика использована в расчетном исследовании. Из нее видно, что эффективная мощность  $N_e$  и удельный эффективный расход топлива  $g_e$  принимают максимальные значения при частоте вращения коленчатого вала  $n$ , соответствующей режиму номинальной мощности дизеля. А минимальный эффективный расход топлива соответствует частоте вращения, близкой к режиму максимального крутящего момента. Эффективная мощность имеет тенденцию снижения при снижении частоты вращения.

Работа штатной системы охлаждения дизеля (СОД) имеет жесткую связь с частотой вращения коленчатого вала и температурными характеристиками термостата охлаждающей жидкости. При регулировании работы СОД ее параметры определяются параметрами теплоты, подводимой к теплоносителям от деталей дизеля. Теплота, подведенная к деталям дизеля, которую система охлаждения отводит в окружающую среду, определяется параметрами рабочего процесса ДВС, особенностями конструкции и режимами работы [5]. Оценка уровня тепловыделения в систему охлаждения предусматривает определение основных компонентов, входящих в уравнение теплового баланса дизеля:

$$Q_{\text{хим}} = Q_3 + Q_{\text{ож}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{ог}} + Q_{\text{общ}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{хим}}$  – химическая теплота сгорания топлива в цилиндре ДВС, кДж/с;  $Q_3$  – теплота, эквивалентная эффективной работе ДВС, кДж/с;  $Q_{\text{ож}}$  – то же, отведенная охлаждающей жидкостью, кДж/с;  $Q_{\text{м}}$  – то же, отведенная маслом системы смазки, кДж/с;  $Q_{\text{ог}}$  – то же, отведенная отработанными газами, кДж/с;  $Q_{\text{общ}}$  – то же,

отведенная в результате лучистого и конвективного теплообмена нагретых частей ДВС с окружающей средой, кДж/с.

Параметры подведенной теплоты на внешней скоростной характеристике были рассчитаны в соответствии с проведенными исследованиями работы системы охлаждения в условиях объекта [6]. Результаты расчета показаны на рис. 2.

Поскольку теплоту  $Q_{\text{общ}}$ , отведенную к окружающей среде от дизеля, сложно определить экспериментальным путем, принято упрощение, что она вся вместе с остаточной учитывается в части теплоты, отведенной с отработанными газами ( $Q_{\text{ог}}$ ).

На частичных режимах составляющие теплового баланса изменяются [7], соответственно, теплота, отводимая СОД, определяется особенностями конструкции дизеля, а также теплотой сгорания топлива. При этом теплота, отводимая от дизеля на частичных режимах, зависит от нагрузки, характер ее изменения приложен на рис. 3. Влияние нагрузки на теплоту, подведенную к системе охлаждения, требует изменения интенсивности отвода теплоты на частичных режимах.

Чтобы оценить влияние регулирования работы системы охлаждения на показатели силовой установки, выполнен расчет параметров системы охлаждения дизеля типа 12ЧН15/18 на номинальном и частичных режимах при постоянной частоте вращения коленчатого вала. Выбраны три точки для расчета при частоте, что соответствует номинальному режиму работы при 100, 80 и 60 % нагрузки. КПД вентиляторной установки считаем постоянным, параметры воздуха на входе в теплообменники и расход жидких теплоносителей – неизменными.

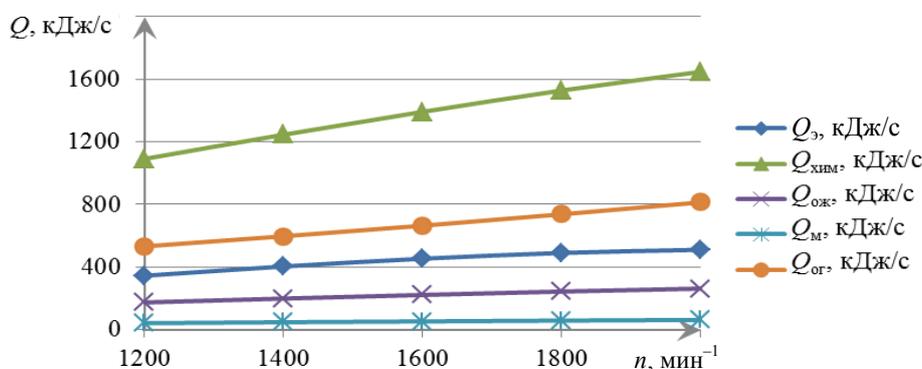


Рис. 2. Тепловой баланс дизеля типа 12ЧН15/18 по внешней скоростной характеристике

Fig. 2. Thermal balance of 12ЧН15/18-type diesel engine according to external high-speed characteristics

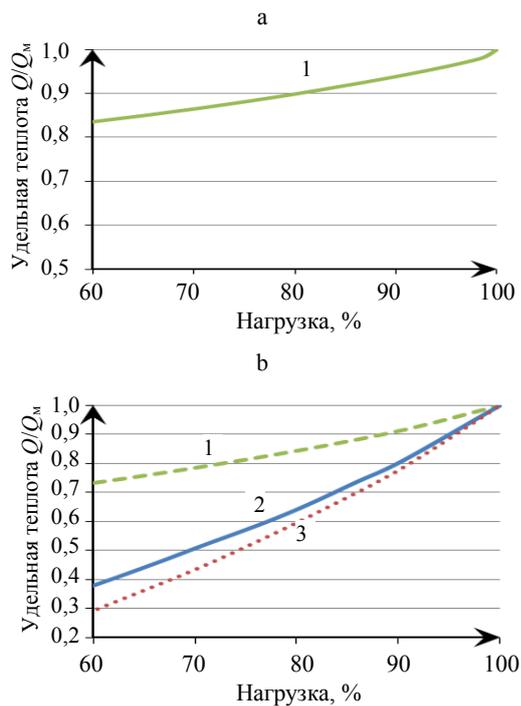


Рис. 3. Характеристика изменения подведенной теплоты на частичных режимах: а – масло: 1 –  $n = 1200\text{--}2000$  об/мин; б – охлаждающая жидкость: 1 –  $n = 2000$  об/мин; 2 –  $1600\text{--}1800$ ; 3 –  $1200\text{--}1400$  об/мин

Fig. 3. Characteristics of change in supplied heat for partial modes: а – oil: 1 –  $n = 1200\text{--}2000$  rev/min; б – cooling liquid: 1 –  $n = 2000$  rev/min; 2 –  $1600\text{--}1800$ ; 3 –  $1200\text{--}1400$  rev/min;

Также стоит отметить, что расход воздуха через теплообменники СОД силовой установки с дизелем типа 12ЧН15/18 определяется как

$$G_{\text{СОД}} = G_{\text{ДВС}} + G_{\text{вент}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{ДВС}}$  – расход воздуха дизелем на соответствующем режиме работы, кг/с;  $G_{\text{вент}}$  – то же через вентилятор системы охлаждения, кг/с.

Для определения параметров работы СОД разработана методика комплексного расчета теплообменников СОД с учетом известной методики, описанной в [8], с использованием реальных геометрических параметров теплообменников НТМ.

Мощность  $N_{\text{вент}}$ , Вт, на привод вентилятора определяется зависимостью [9]

$$N_{\text{вент}} = \frac{G_{\text{вент}} H_{\text{вент}}}{\eta_{\text{вент}} \rho_{\text{возд}}}, \quad (3)$$

где  $H_{\text{вент}}$  – избыточное давление, создаваемое вентилятором, Па;  $\eta_{\text{вент}}$  – коэффициент полез-

ного действия вентилятора (0,151);  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха, зависит от температуры, кг/м<sup>3</sup>.

Разрежение или избыточное давление  $H_{\text{вент}}$  определяется из расчета теплообменников и сравнивается с результатами экспериментального исследования СОД [6]. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало, что расчетные значения не отличаются от полученных экспериментально более чем на 5 % во всем исследуемом диапазоне расхода воздуха и жидкости.

Схема пакета теплообменников СОД НТМ [10] приведена рис. 4. Сюда входят: два теплообменника охлаждающей жидкости и три теплообменника масла. Первый ряд по направлению движения прокачиваемого воздуха включает в себя два идентичных пакета теплообменников масла дизеля, соединенных последовательно, и один пакет теплообменника масла трансмиссии. Условия работы теплообменников верхнего ряда определяются непосредственно температурой и давлением воздуха окружающей среды. Во втором ряду по направлению движения воздуха расположены два идентичных пакета теплообменника охлаждающей жидкости, соединенных последовательно. На работу второго ряда теплообменников влияют параметры температуры и давления воздуха на выходе из первого ряда.

Теплота, подведенная к маслу трансмиссии, эквивалентна механической работе, теряемой в механизмах бортовых коробок передач, и выражается ее механическим КПД. Изменение КПД механической передачи характеризуется зависимостью [11]

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 u_{12}}, \quad (4)$$

где  $T_2$ ,  $T_1$  – крутящий момент на выходном и входном валу, Н·м;  $u_{12}$  – передаточное число редуктора.

Так как соотношение крутящего момента на входном валу и передаточного числа к крутящему моменту на выходном валу неизменны, при постоянной частоте вращения и изменении нагрузки КПД коробок передач не меняется, как и количество теплоты, выделившейся в систему смазки редуктора.

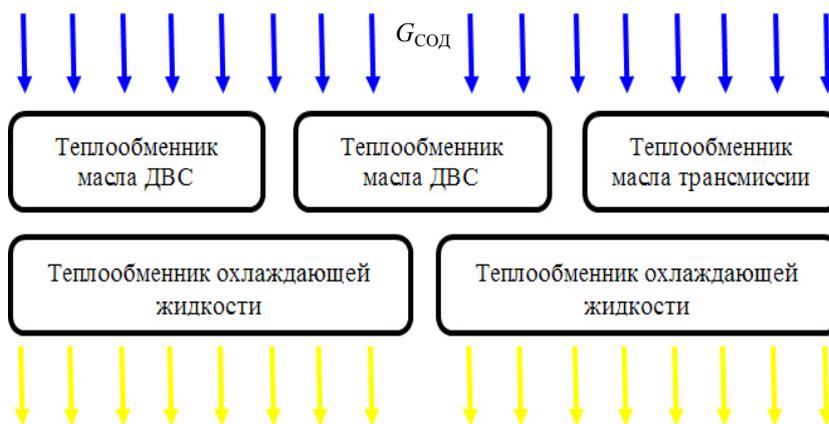


Рис. 4. Схема расположения теплообменников системы охлаждения дизеля

Fig. 4. Scheme of heat exchanger arrangement for diesel cooling system

Выполнен расчет СОД для двух вариантов:

- а) без применения условия регулирования расхода воздуха;
- б) с использованием регулирующего воздействия.

Расчет выполнен при значении атмосферного давления 100000 Па, температуре 20 °С и КПД вентилятора 0,151. Результаты исследования сведены к табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета системы охлаждения дизеля  
Results of calculation for diesel cooling system

Параметр	Значение нагрузки, %					
	без регулирования			с регулированием		
	100	80	60	100	80	60
$Q/Q_m, \%$	100	89,68	83,6	100	89,68	83,61
$Q/Q_{ож}, \%$	100	84,29	73,3	100	84,29	73,3
$N_{вент}, кВт$	90,84	89,259	88,18	90,84	36,74	24,5
$G_{сод}, кг/с$	7,88	7,88	7,88	7,88	5,78	5,00
$T_{ож}^n, ^\circ C$	93,99	84,83	78,58	93,99	93,9	93,79
$T_m^n, ^\circ C$	83,17	77,72	74,63	83,17	82,3	83,1
$Q_{ож}, кДж/с$	262,1	220,940	192,13	262,1	222,13	192,07
$Q_m, кДж/с$	62,316	55,888	52,1	62,32	58,00	56,96
$Q_{тр}, кДж/с$	95,99	95,988	95,99	95,99	63,26	68,48
$\Sigma Q, кДж/с$	420,4	372,816	340,21	420,4	343,39	317,51

Как видно из табл. 1, при нагрузке 80 % и применении регулирования работы СОД мощность на привод вентилятора меньше на 58,8 %, а при режиме нагрузки 60 % – на 72,2 %. Кроме того, при отсутствии регулирования охлаждающая жидкость снижает свою температуру от оптимальной при нагрузке 80 % на 9,16 °С,

при 60 % – на 15,41 °С. Снижение температуры охлаждающей жидкости приводит к ухудшению показателей силовой установки и сокращению ее ресурса, а также к ускорению выхода из строя теплообменника вследствие значительных переменных по значению напряжений [12].

Параметры мощности и удельного расхода топлива для дизеля типа 12ЧН15/18 без и с применением регулирования приведены на рис. 5.

Регулирование температуры теплоносителя позволяет улучшить экономические показатели силовой установки на режимах нагрузки 80 % и 60 % за счет уменьшения внутренних потерь, связанных с уменьшением мощности, необходимой для прокачки воздуха вентилятором системы охлаждения, при этом удельный расход топлива уменьшится на 31,8 и 74,7 г/(кВт·ч) соответственно.

Выполнена оценка влияния повышения средней температуры теплоносителей на параметры теплового баланса по материалам Ф. Л. Ливенцева [13]. Для вычисления составляющих теплового баланса необходимо определение коэффициента, учитывающего изменение температуры каждого из теплоносителей:

$$\beta_m = \frac{Q_{m1} - Q_{m0}}{(t_{cp1} - t_{cp0}) Q_{m0}}, \quad (5)$$

где  $Q_{m0}, Q_{m1}$  – количество теплоты, кДж/с, отведенной при средней температуре теплоносителя соответственно  $t_{cp0}, t_{cp1}, ^\circ C$ .

Результаты расчета коэффициентов для охлаждающей жидкости и масла приведены на рис. 6.

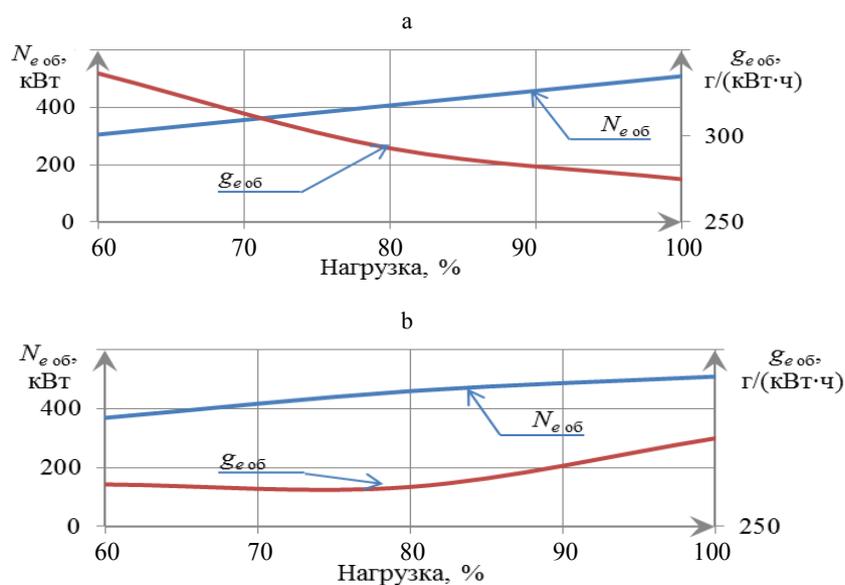


Рис. 5. Параметры мощности и удельного расхода топлива дизеля: а – без регулирования; б – с регулированием

Fig. 5. Parameters of power and specific fuel consumption of diesel: а – without regulation; б – with regulation

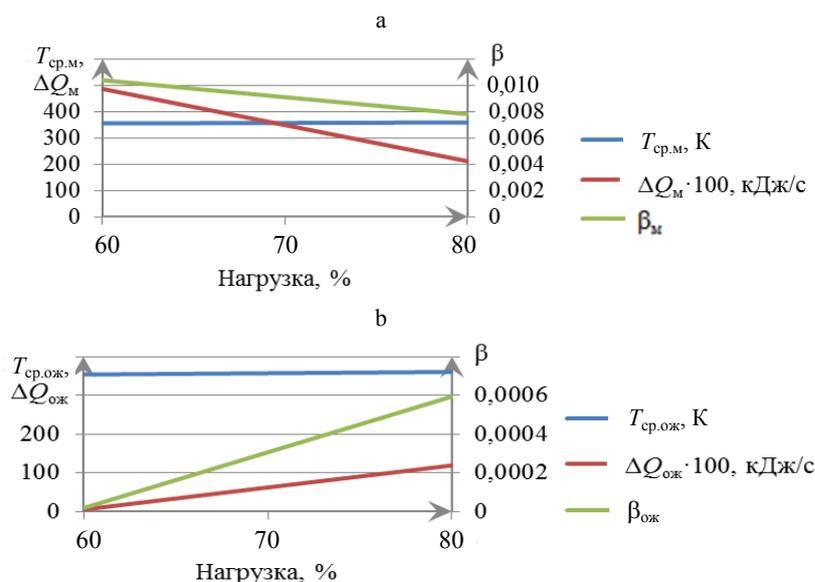


Рис. 6. Коэффициенты для определения влияния средней температуры: а – масла; б – охлаждающей жидкости

Fig. 6. Coefficients for determination of average temperature influence: а – oil; б – cooling liquid

В методике Ф. Л. Ливенцева изменяется количество теплоты  $\Delta Q_m$ , которое распределяется между теплотой – эффективно использованной и отведенной с отработавшими газами. Применяя зависимость влияния средней температуры теплоносителя на количество теплоты  $Q$ , можно определить влияние повышения температуры на показатели теплового баланса дизеля в составе силовой установки

$$Q = Q_{m0} [1 - (t_{cp} - t_{cp0}) \beta_m], \quad (6)$$

Так как количество теплоты сгорания топлива на установившемся режиме является неизменным, а тепловые потоки в охлаждающую жидкость и масло меняются, возникает избыток теплоты  $\Delta Q_m$ , который перераспределяется пропорционально эффективному КПД ( $\eta_e$ ) к отработавшим газам и теплоте эквивалентной эффективной работы:

$$\Delta Q_m = (Q_m - Q_{m0}) + (Q_{ож} - Q_{ож0}); \quad (7)$$

$$\Delta N_e = \Delta Q_m \eta_e; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ог} = \Delta Q_m (1 - \eta_e). \quad (9)$$

Распределения величин инкремента при положительном значении разницы и декремента при отрицательной разнице эффективной мощности  $\Delta N_e$  и отработанных газов  $\Delta Q_{ог}$  увеличивают или уменьшают исходные значения эффективной мощности и теплоты, отведенной отработанными газами:

$$N'_e = N_e + \Delta N_e; \quad Q'_{ог} = Q_{ог} + \Delta Q_{ог}. \quad (10)$$

Изменения эффективной мощности дизеля в составе силовой установки при нагрузке 80 % отражены в табл. 2. Расчет выполнялся без учета температурных характеристик масла, ограничивающих максимальную температуру при применении в ДВС.

Таблица 2

**Влияние средней температуры теплоносителя на элементы теплового баланса дизеля при нагрузке 80 %**

**Influence of average coolant temperature on elements of thermal diesel engine balance at load of 80 %**

$T'_{ож\text{ ср}}$ , К	$T'_{м\text{ ср}}$ , К	$Q_m$ , кДж/с	$N'_e$ , кДж/с	$Q'_{ог}$ , кДж/с	$Q_{ож}$ , кДж/с	$Q_{хим}$ , кДж/с
353	363	53,84	409,54	719,50	221,91	1404,79
360	365	52,96	408,00	720,04	220,99	1404,79
363	373	49,43	414,49	720,27	220,59	1404,79
368	378	47,23	416,96	720,66	219,94	1404,79
373	383	45,02	419,44	721,04	219,28	1404,79
378	388	42,82	421,92	721,43	218,62	1404,79
383	393	40,62	424,39	721,81	217,97	1404,79
388	398	38,41	426,87	722,20	217,31	1404,79
393	403	36,21	429,34	722,59	216,65	1404,79

Видно, что при повышении средней температуры теплоносителей (охлаждающей жидкости – до  $T'_{ож\text{ ср}} = 120$  °С, масла – до  $T'_{м\text{ ср}} = 130$  °С) на режиме нагрузки 80 % эффективная мощность вырастет на 1,2 %.

Рассматривая режим нагрузки 60 %, можно наблюдать подобную тенденцию. Перераспределение теплового баланса на режиме нагрузки дизеля 60 % приведено в табл. 3.

При повышении средней температуры теплоносителя (охлаждающей жидкости) до  $T'_{ож\text{ ср}} = 120$  °С, масла до  $T'_{м\text{ ср}} = 125$  °С на режиме нагрузки 60 % эффективная мощность вырастет на 0,89 %.

Таблица 3

**Влияние средней температуры теплоносителя на элементы теплового баланса дизеля при нагрузке 60 %**

**Influence of average coolant temperature on elements of thermal diesel engine balance at load of 60 %**

$T'_{ож\text{ ср}}$ , К	$T'_{м\text{ ср}}$ , К	$Q_m$ , кДж/с	$N'_e$ , кДж/с	$Q'_{ог}$ , кДж/с	$Q_{ож}$ , кДж/с	$Q_{хим}$ , кДж/с
353	360,68	52,48	306,00	660,09	306,00	1210,24
358	363,00	51,14	306,89	660,10	305,94	1210,24
363	368,00	48,24	309,80	660,11	305,96	1210,24
368	373,00	45,33	312,71	660,12	305,98	1210,24
373	378,00	42,43	315,62	660,13	305,99	1210,24
378	383,00	39,53	318,53	660,14	306,01	1210,24
383	388,00	36,63	321,44	660,15	306,03	1210,24
388	393,00	33,73	324,35	660,16	306,05	1210,24
393	398,00	30,83	327,26	660,17	306,07	1210,24

При изменении температуры меняются составляющие теплового баланса. При повышении температуры теплоносителя теплота, подводимая к теплоносителю, уменьшается, а ее избыток разделяется на составляющие теплоты, эквивалентной эффективной работе, и отработавших газов. Повышение температуры приводит к увеличению мощности и уменьшению механических потерь, что также подтверждено в диссертации А. П. Марченко [14]. Таким образом, в статье показано положительное влияние регулирования температуры на эффективные показатели ДВС.

В практике регулирования применяются разные типы механизмов приводов: электрический и гидравлический, тип конкретного привода будет зависеть от конкретной НТМ. Регулирование температуры теплоносителей ДВС позволит обеспечить работу двигателя в зоне оптимальных температур и улучшить его надежность и экономичность.

Общая тенденция регулирования ставит перед разработчиком задачу учесть влияние таких непостоянных факторов, как температура, давление, влажность окружающей среды, метеорологические явления, что само по себе существенно усложняет ее решение. Поэтому оценка экономического эффекта предполагаемого механизма регулирования возможна лишь для конкретной существующей конструкции.

### ВЫВОДЫ

1. Показана необходимость внедрения регулирования температуры теплоносителей путем

управления работой штатной системы охлаждения дизеля наземной транспортной машины, что позволяет оптимально и эффективно отводить теплоту, снижать расход топлива на 10–20 % на режиме номинальной мощности, а применение высокотемпературного охлаждения повышает эффективную мощность силовой установки на 0,89–1,20 %.

2. Рекомендованы применение регулирования работы вентилятора штатной системы охлаждения наземной транспортной машины и переход от существующего к высокотемпературному охлаждению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Википедия [Электронный ресурс] / T-72. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/T-72>. Дата доступа: 10.03.2018.
2. Двигуни внутрішнього згорання: Сер. підручників у 6 т. Т. 1: Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / за ред. А. П. Марченка, А. Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ «ХПІ», 2004. 491 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей / С. И. Ефимов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. 456 с.
4. Епифанов, В. В. Аппроксимация характеристик энергетических установок транспортных средств / В. В. Епифанов, Р. В. Протасов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць. Тематичний вип.: Транспортне машинобудування. Харків: НТУ «ХПІ», 2007. № 33. С. 61–66.
5. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов [и др.]; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 372 с.
6. ДП «ХКБМ»: по визначенню характеристики вентиляторної системи охолодження танка Т-72М1: Акт № 297 від 12.12.2005.
7. Системы жидкостного охлаждения дизелей военных гусеничных машин. Метод расчета: ОСТ ВЗ-1470–82. М., 1982. 162 с.
8. Кейс, В. М. Компактные теплообменники / В. М. Кейс, А. Л. Лондон; пер. с англ. В. Г. Баклановой; под ред. Ю. В. Петровского. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. 160 с.
9. Косточкин, В. Н. Центробежные вентиляторы. Основы теории и расчета / В. Н. Косточкин. М.: Машгиз, 1951. 222 с.
10. Танк Т-72А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Кн. 2, ч. 2. М.: Воен. изд-во, 1989. 138 с.
11. Лабораторная работа. Исследование коэффициента полезного действия зубчатого редуктора [Электронный ресурс] // Детали машин. Режим доступа: <http://www.detalimach.ru/lab16.html>. Дата доступа: 10.03.2018.
12. Луков, Н. М. Автоматическое регулирование температуры двигателей / Н. М. Луков. М.: Машиностроение, 1995. 271 с.
13. Ливенцев, Ф. Л. Высокотемпературное охлаждение поршневых двигателей внутреннего сгорания / Ф. Л. Ливенцев. М.; Л.: Машиностроение, 1964. 204 с.
14. Марченко, А. П. Термодинамические основы повышения топливной экономичности транспортных дизелей за счет утилизации сбросовой теплоты / А. П. Марченко. Харьков, 1994. 513 с.

Поступила 26.03.2018

Подписана в печать 01.07.2018

Опубликована онлайн 30.05.2019

## REFERENCES

1. T-72. *Wikipedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/T-72> (Accessed 10 March 2018) (in Russian).
2. Marchenko A. P., Shekhovtsov A. F. (2004) *Internal Combustion Engines. Vol. 1 Design Engineering of Forced Engines for Ground Transport Vehicles*. Kharkiv, Publishing Center of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". 491 (in Ukrainian).
3. Efimov S. I., Ivashchenko N. A., Ivin V. I., Alekseev V. P., Vyubov D. N., Grekhov L. V., Kruglov M. G., Krutov V. I., Krylov A. N., Leonov O. B., Mednov A. A., Mizernyuk G. N., Orlin A. S., Roganov S. G., Rogov V. S., Fedyushin V. F., Chistyakov V. K. (1985) *Internal Combustion Engines. Systems of Reciprocating and Combined Engines*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 456 (in Russian).
4. Epifanov V. V., Protasov R. V. (2007) Approximation of Characteristics for Power Plants in Transport Facilities. *Visnik Natsional'nogo Tekhnichnogo Universitetu "Kharkivs'kii Politekhnichnii Institut". Zbirnik Naukovikh Prats'. Tematichnii Vipusk: Transportne Mashinobuduvannya* [Bulletin of the National Technical University «KhPI». Collection of Research Papers. Special Issue: Transport Engineering]. Kharkiv, KhPI, (33), 61–66 (in Russian).
5. Vyubov D. N., Ivashchenko N. A., Ivin V. I., Kruglov M. G., Leonov O. B., Mednov A. A., Mizernyuk G. N., Orlin A. S., Roganov S. G. (1983) *Internal Combustion Engines: Theory of Reciprocating and Combined Engines*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 372 (in Russian).
6. State Enterprise "Kharkiv Machine Building Design Bureau" [KhMDB]: On determination of Characteristics for fan Cooling System of T-72M1 tank: Act No 297. Dated 12.12.2005 (in Ukrainian).
7. Industrial Standard OST ВЗ-1470–82. *Liquid Cooling Systems for Diesel Engines of Military Caterpillar Vehicles. Calculation Method*. Moscow, 1982. 162 (in Russian).
8. Kays W. M., London A. L. (1958) *Compact Heat Exchangers*. New York, McGraw-Hill Book Company. 156.
9. Kostochkin V. N. (1951) *Centrifugal Fans. Fundamentals of Theory and Calculation*. Moscow, Mashgiz Publ. 222 (in Russian).
10. *T-72A Tank. Technical Description and Operational Manual. Book. 2. Part 2*. Moscow, Military Publishing House, 989. 138 (in Russian).
11. *Laboratory Work. Investigation of Gear Reducer Efficiency*. Available at: <http://www.detalimach.ru/lab16.html> (Accessed: 10 March 2018) (in Russian).
12. Lukov N. M. (1995) *Automatic Temperature Control of Engines*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ. 271 (in Russian).
13. Liventsev F. L. (1964) *High-Temperature Cooling of Reciprocating Internal Combustion Engines*. Moscow; Leningrad, Mashinostroyeniye Publ. 204 (in Russian).
14. Marchenko A. P. (1994) *Thermodynamic Basis for Improving Fuel Efficiency of Transport Diesel Engines Due to Utilization of Waste Heat*. Kharkov, 513 (in Russian).

Received: 26.03.2018

Accepted: 01.07.2018

Published online: 30.05.2019