

Методика расчета масляных радиаторов автотракторной техники

Екатерина Петровна Парлюк,
кандидат экономических наук, доцент,
e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru;

Алексей Викторович Куриленко,
магистрант, заведующий учебной лабораторией,
e-mail: a.kurilenko@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали актуальность проблемы определения количества теплоты, отдаваемой двигателем внутреннего сгорания в жидкостную систему охлаждения при создании типоразмерных рядов унифицированных теплообменников тракторных и комбайновых двигателей (силовых агрегатов). Отметим, что правильно спроектированная система охлаждения в дальнейшем гарантирует поддержание оптимального теплового режима работы двигателя. Предложили методику расчета теплоносных характеристик системы охлаждения для заблаговременного исключения возможных проблем, связанных с повышенным износом деталей, преждевременной потерей маслом смазывающих свойств, перегревом двигателя (отдельных агрегатов) и трущихся деталей, снижением мощности двигателя и ухудшением качества топливо-воздушной смеси, поступающей в цилиндры. (*Цель исследования*) Разработать методику расчета количества теплоты, которое должно быть рассеяно масляными радиаторами жидкостной системы охлаждения (системы смазки) при различных нагрузочных и скоростных режимах работы двигателя. (*Материалы и методы*) Предложили определить количество теплоты, которое должно быть рассеяно жидкостно-масляным теплообменником системы охлаждения смазочного масла двигателя. (*Результаты и обсуждение*) В методике расчета масляных радиаторов представили расчет тепла, полученного маслом в процессе работы автотракторных двигателей мощностью 37-110 киловатт. Определили теплорассеивающую способность масляной поверхности. Выявили параметр, учитывающий тепловой поток масляных радиаторов. Представили графики зависимости масляной поверхности и теплового потока от мощности двигателя. (*Выводы*) Разработали методику расчета показателей температурно-динамических характеристик охлаждающей системы автотракторных двигателей, которая позволяет проводить исследования по теплотехническим показателям радиаторов на различных режимах работы машин и теплоносителях систем, конструкционных материалах (металл, полимер) теплообменников с учетом факторов и режимов работы с погрешностью 1,5-8,0 процентов.

Ключевые слова: масляный радиатор, автотракторный двигатель, жидкостно-масляный теплообменник двигателя, система охлаждения смазочного масла двигателя.

■ Для цитирования: Парлюк Е.П., Куриленко А.В. Методика расчета масляных радиаторов автотракторной техники // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №2. С. 37-42. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-2-37-42. EDN CJYRJJ.

Methodology For Calculating Automotive Oil Radiator

Ekaterina P. Parlyuk,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru;

Aleksey V. Kurilenko,
master's student, head of the educational laboratory,
e-mail: a.kurilenko@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the relevance of the problem of determining the amount of heat supplied by an internal combustion engine to a liquid cooling system when creating typical series of unified heat exchangers for tractor and combine engines (power units). A properly designed cooling system further guarantees the maintenance of the optimal thermal mode for the engine operation. A methodology for calculating the coolant characteristics of the cooling system was proposed in order to prevent possible problems related to increased parts wear, early loss of oil lubricating properties, the engine (individual units) and rubbing parts overheating, a decrease in engine power and a deterioration in the quality of the fuel-air mixture entering the cylinders. (*Research purpose*) To develop a methodology for calculating the amount of heat to be dissipated by the oil radiators of a liquid cooling system (lubrication system) being exposed to various load and engine speed modes. (*Materials and methods*) It was

proposed to determine the amount of heat to be dissipated by the liquid-oil heat exchanger of the engine lube oil cooling system. (Results and discussion) The calculation method for oil radiators presents the calculation of the heat obtained by oil during the operation of 37-110 kilowatts automotive engines. The heat-dissipating ability of the oil surface is determined. A parameter taking into account the oil radiator heat flow is identified. The graphs of the oil surface and heat flux dependence on the engine power are presented. (Conclusions) The method for calculating the temperature and dynamic characteristics of the automotive engine cooling system has been developed. It makes it possible to carry out research on the radiator thermal and technical characteristics in various operating modes of machines and coolants of systems, various heat exchanger structural materials (metal, polymer), with an error of 1.5-8.0 percent.

Keywords: oil radiator, autotractor engine, automotive engine, liquid-oil engine heat exchanger, engine lube oil cooling system.

For citation: Parlyuk E.P., Kurilenko A.V. Metodika rascheta maslyanykh radiatorov avtotraktornoy tekhniki [Methodology for calculating automotive oil radiator]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16 N2. 37-42 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-2-37-42. EDN CJYRJJ.

В современных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) около 12-13% химической энергии топлива расходуется на преодоление механических потерь. В балансе механических потерь доля сил трения достигает 66-74% в зависимости от типа и нагрузочно-скоростного режима работы двигателя. Тепловой режим работы моторного масла значительно влияет на величину сил трения и износ деталей в условиях эксплуатации. Затрачиваемая на работу приводных механизмов энергия состоит из:

- полезной работы, осуществляемой данным узлом или агрегатом;
- его внутренней энергии, которая оценивается исходя из нагрева деталей и смазочного масла до нормируемой рабочей температуры;
- отводимой энергии.

Если снизить потери трения, оптимизируя тепловой режим смазочных систем, то можно улучшить эксплуатационные показатели ДВС.

Теплоотдача в масло зависит от конструктивных параметров двигателя, режима и условий его работы и определяется температурой поршней, цилиндров, подшипников коленчатого вала и других деталей, а также интенсивностью разбрызгивания масла.

Цель исследования – разработать методику расчета количества теплоты, которое должно быть рассеяно радиаторами жидкостной системы охлаждения (системы смазки) при различных нагрузочных и скоростных режимах работы двигателя автотракторной техники, а также при разных состояниях окружающей среды.

Материалы и методы. Необходимо определить количество теплоты, которое должно быть рассеяно жидкостно-масляным теплообменником системы охлаждения смазочного масла двигателя. Рассмотрим методику определения теплоты, полученной масляным радиатором:

$$Q_{\text{мр}} = Q_{\text{м}} - Q_{\text{м.пов}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{мр}}$ – количество теплоты, полученное масляным радиатором, Вт/м·К;

$Q_{\text{м}}$ – количество теплоты, полученное смазочным маслом в ДВС, Вт/м·К;

$Q_{\text{м.пов}}$ – теплорассеивающая способность масляных поверхностей охлаждения двигателя, Вт/м·К.

Количество теплоты, полученное смазочным маслом в ДВС, зависит от ряда факторов, которые подразделяются на несколько групп.

К *первой* следует отнести режимные факторы, определяющиеся разгрузочным и скоростным режимом работы двигателя. *Вторая* – зависит от регулировок двигателя, то есть от величины угла опережения подачи топлива, зазора в клапанах и т.д. *Третья* группа включает факторы, связанные с техническим состоянием двигателя, прежде всего степенью износа трущихся поверхностей. Известно, что на трение в цилиндро-поршневой группе затрачивается до 75% всех механических потерь двигателя, в связи с чем состояние этих поверхностей влияет на количество теплоты, получаемой маслом. В тоже время от состояния поршневых колец зависит величина прорыва газов в картер двигателя, что сказывается на температурном режиме системы охлаждения смазочного масла [1-3].

К *четвертой* группе относятся факторы, определяющие состояние окружающей среды, поскольку они влияют на характер протекания рабочего процесса двигателя, а следовательно, и на его температурный режим.

Пятая группа определяется конструкцией системы охлаждения двигателя – масляных радиаторов или жидкостно-масляных теплообменников. Конструктивное исполнение систем охлаждения учитывает перераспределение тепловых потоков между внутренними теплоносителями двигателя, охлаждающей жидкостью, маслом и уходящими газами, находящимися в тесном тепловом контакте между собой [4, 5]. Тепловая взаимосвязь указанных теплоносителей прослеживается и при изменении теплорассеивающей способности жидкостной системы охлаждения и системы охлаждения смазочного масла, а также их отдельных элементов [6, 7]. При изменении теплоот-

дачи от омываемых водой поверхностей двигателя (из-за загрязнений и т.д.) доля теплоты, перераспределенной в масляную систему охлаждения и уходящие газы, составляет 39,7-43,7% от снижения теплоотдачи указанных поверхностей двигателя [8]. Изменение теплоотдачи поверхностей двигателя, омываемых смазочным маслом (поверхность картера, крышки распределительных шестерен и т.д.) вызывает перераспределение тепловых потоков в охлаждающую жидкость и уходящие газы – до 31-42%, что зависит, как и в предыдущем случае, и от режима работы двигателя. В последнюю группу следует занести все остальные, неучтенные факторы.

Результаты и обсуждение. Теплоотдающая способность масляных поверхностей охлаждения двигателя $Q_{м.пов}$, входящая в уравнение (1), зависит от режима работы двигателя на различных оборотах, эффективной мощности состояния окружающей среды и других факторов. При этом влияние внешней среды на $Q_{м.пов}$ лучше представить не в абсолютном значении ее температуры, а по начальному температурному напору системы охлаждения смазочного масла:

$$\Delta t_{нач.м} = t'_м - t_{но} \quad (2)$$

где $\Delta t_{нач.м}$ – начальный температурный напор смазочного масла, К;

$t'_м$ – температура масла на выходе из двигателя, К;

$t_{но}$ – температура окружающей среды, К.

Для обобщения результатов определения величины применительно к разным двигателям, развиваемой ими мощности и температуре окружающей среды лучше воспользоваться выражением для удельной теплоотдачи масляных поверхностей двигателя:

$$Q'_{н.м.пов} = \frac{Q_{м.пов}}{\Delta t_{нач.м}} \quad (3)$$

где $Q'_{н.м.пов}$ – удельная теплоотдача масляных поверхностей двигателя, Вт/м·К;

$Q_{м.пов}$ – теплоотдающая способность масляных поверхностей охлаждения двигателя, Вт/м·К;

$\Delta t_{нач.м}$ – начальный температурный напор смазочного масла, К.

С учетом зависимости теплоотдачи поверхностей двигателя в окружающую среду от развиваемой двигателем мощности проведенные исследования выражаются функцией:

$$P'_м = \left(\frac{Q_{м.пов}}{\Delta t_{нач.м}} \right)^{\frac{1}{N_e}} = (Q'_{н.м.пов})^{\frac{1}{N_e}} \quad (4)$$

где $P'_м$ – поверхность масляной охлаждающей системы;

$Q'_{н.м.пов}$ – удельная теплоотдача масляных поверхностей двигателя, Вт/м·К;

$Q_{м.пов}$ – теплоотдающая способность масляных поверхностей охлаждения двигателя, Вт/м·К;

$\Delta t_{нач.м}$ – начальный температурный напор смазоч-

ного масла, К.

С уменьшением нагрузки роль теплоотдачи поверхностей двигателя возрастает (рисунк) [9-12]. Это может быть с достаточной точностью аппроксимировано зависимостью, Вт:

$$P'_м = 1,3245 \cdot N_e^{-5,51 \cdot 10^2} \quad (5)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя, кВт.

Совместное решение последних уравнений дает выражение:

$$\left(\frac{Q_{м.пов}}{\Delta t_{нач.м}} \right)^{\frac{1}{N_e}} = 1,3245 \cdot N_e^{-5,51 \cdot 10^2} \quad (6)$$

После некоторых преобразований запишем:

$$Q_{м.пов} = \Delta t_{нач.м} \cdot 1,3245 \cdot N_e^{-5,51 \cdot 10^2} \cdot N_e \quad (7)$$

Таким образом, теплоотдача омываемых маслом поверхностей двигателя, входящая в уравнение (2), рассчитывается на основе предложенной зависимости масляной охлаждающей поверхности от мощности двигателя. Количество теплоты, которое должно быть рассеяно масляным радиатором системы охлаждения смазочного масла, изменяется в зависимости от режима работы двигателя и эффективности жидкостной системы охлаждения. Взаимосвязь и зависимость систем охлаждения и смазки выражается показателем $F'_м$:

$$F'_м = \left(\frac{Q_{MP}}{Q_{WP}} \right)^{\frac{1}{N_e}} \quad (8)$$

где $F'_м$ – безразмерный параметр учета теплового потока радиаторов системы охлаждения и смазки;

Q_{WP} – количество теплоты от двигателя, Вт/м·К.

На основе представленного выражения провели анализ работ [13-16] для двигателей с $N_e = 37-405$ кВт (рисунк). Рассматривая представленную на графике зависимость $F'_м$ от N_e . Как видим, в области малых значений мощности двигателя (менее 74 кВт), характер протекания кривой более крутой, чем в правой части графика. Это объясняется более быстрым снижением теплоты Q_{MP} с понижением мощности двигателя, чем теплоты Q_{WP} для радиатора системы охлаждения, что показывает более существенное влияние режима работы двигателя, в частности развиваемой мощности, на жидкостную систему охлаждения, чем систему охлаждения смазочного масла.

Представленные на рисунке результаты аппроксимируются зависимостями:

- для мощностей $N_e = 37-74$ кВт:

$$F'_м = 0,81198 \cdot N_e^{4,1658 \cdot 10^{-2}} \quad (9)$$

- для мощностей $N_e = 74-110$ кВт:

$$F'_м = 0,97636 + 5,78125 \cdot 10^{-5} \cdot N_e \quad (10)$$

Последнее уравнение аппроксимирует результаты исследований в декартовых координатах, так как для

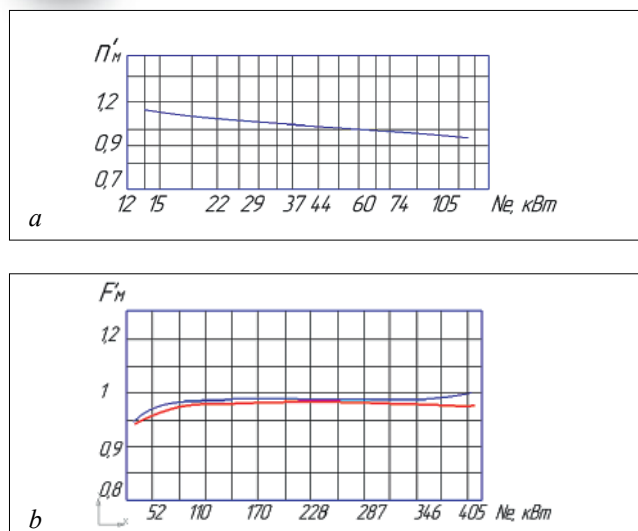


Рис. Влияние мощности двигателя на масляную охлаждающую поверхность (а) и тепловой поток (б) жидкостной и масляной поверхности (синяя и красная кривые соответственно)
Fig. Engine power impact on the oil cooling surface (a) and heat flux (b) of the liquid and oil surfaces (blue and red curves, respectively)

этой области значение N_e описывается на 10-16% точнее, чем в других методиках [17-24]. С учетом выражения (8) можно определить относительную теплоотдачу:

- для мощностей $N_e = 37-74$ кВт:

$$\left(\frac{Q_{MP}}{Q_{WP}}\right)^{\frac{1}{N_e}} = 0,81198 \cdot N_e^{4,1658 \cdot 10^{-2}}; \quad (11)$$

- для мощностей $N_e = 74-110$ кВт:

$$\left(\frac{Q_{MP}}{Q_{WP}}\right)^{\frac{1}{N_e}} = 0,97636 + 5,78125 \cdot 10^{-5} \cdot N_e. \quad (12)$$

Количество теплоты, которое должно быть рассеяно масляным радиатором, определяется в виде:

- для $N_e = 37-74$ кВт:

$$Q_{MP} = Q_{WP}^{0,81198 \cdot N_e^{4,1658 \cdot 10^{-2}}}; \quad (13)$$

- для $N_e = 74-110$ кВт:

$$Q_{MP} = Q_{WP} (0,97636 + 5,78125 \cdot 10^{-5} \cdot N_e)^{N_e}. \quad (14)$$

На рисунке представлены примеры расчета функции на основе полученных уравнений для двигателей с $N_e = 37-110$ кВт. Погрешность определения F_m^* в этом случае не превышает 3%. А расчетные экспериментальные зависимости (13) и (14) определяют количество теплоты Q_{MP} для указанных двигателей с погрешностью 1,5-8,0% относительно экспериментальных данных, выявленных на тракторе МТЗ-80 [8]. Причем меньшие значения погрешности соответствует большим значениям мощности двигателя. Рост ошибки расчета с уменьшением мощности двигателя объясняется большим влиянием на рабочий процесс двигателя различных не учитываемых нами факторов.

Таким образом, уравнения (13) и (14) позволяют рассчитать с достаточной степенью точности теплоту, рассеиваемую в окружающую среду радиатором системы охлаждения смазочного масла. Данные зависимости учитывают режим работы двигателя и температуру окружающего воздуха через теплоотдачу радиатора жидкостной системы охлаждения.

Выводы. Разработанная методика расчета показателей температурно-динамических характеристик охлаждающей системы позволяет определять количество теплоты, которое должно быть рассеяно радиаторами жидкостной системы охлаждения при различных нагрузочных и скоростных режимах работы двигателя автотракторной техники, а также при разных состояниях окружающей среды.

Выявили хорошую достоверность прогноза теплотехнических характеристик теплообменников с погрешностью 1,5-8,0% для систем с мощностью двигателя 37-110 кВт. Ошибка в определении предложенного показателя оптимизации F_m^* не превышает 3%.

Получили показатель P_m^* , характеризующий количество теплоты, которое должно быть рассеяно масляным радиатором системы охлаждения в зависимости от режима работы двигателя.

Возможность оптимизации тепловых процессов исследованных радиаторов системы охлаждения и смазки позволяет повысить их точность на 10-16%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Shimizu S., Sato M., Koyanagi J., et al. Numerical simulation of compressive failure of carbon-fiber-reinforced plastic laminates with various hole shapes. *Advanced Composite Materials*. 2021. Vol. 30. N1. 58-75.
- Speetjens M., Metcalfe G., Rudman M. Lagrangian Transport and Chaotic Advection in Three-Dimensional Laminar Flows. *Applied Mechanics Reviews*. 2021. Vol. 73. N3. 030801.
- Grenyer A., Erkoyuncu J. A., Zhao Y., Schwabe O. Multi-step prediction of dynamic uncertainty under limited data. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2022. Vol. 37. 37-54.
- Yang X., Zhao J., Wang X., et al. Construction of metal organic framework-derived hollow-structured mesoporous carbon based lithium hydroxide composites for low-grade thermal energy storage. *Composites Part B: Engineering*. 2022. Vol. 232. 109604.
- Гузалов А.С., Дидмандзе О.Н. Экспериментальные исследования дополнительного наддува на двигателе Д-260.2 с электроприводом // *Международный техни-*



- ко-экономический журнал. 2021. N2. С. 66-73.
6. Асадов Д.Г., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С. Основы повышения мощностных показателей в ДВС на тягово-транспортных средствах. М.: Автограф. 2020. 70 с.
 7. Vinogradov O.V., Moskvichev D.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019. Vol. 6. N3. 5289-5292.
 8. Bolshakov N.A. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Modernization of the cooling system in tractors with gas engines. *E3S Web of Conferences*. 2020. 04048.
 9. Дидманидзе О.Н., Хакимов Р.Т., Парлюк Е.П., Большаков Н.А. Результаты испытаний полимерного радиатора системы охлаждения трактора МТЗ-80 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 55-60.
 10. Парлюк Е.П. Совершенствование охлаждающих систем автотракторных двигателей и методов контроля их состояния // *Техника и оборудование для села*. 2021. N5(287). С. 41-44.
 11. Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Kurilenko A.V. Mathematical efficiency model of the block-module cooling system of automotive vehicles and tractors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 52061.
 12. Дидманидзе О.Н., Афанасьев А.С., Хакимов Р.Т. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей // *Записки Горного института*. 2018. Т. 229. С. 50-55.
 13. Qi W., Liu M., Wu J., et al. Promoting the thermal transport via understanding the intrinsic relation between thermal conductivity and interfacial contact probability in the polymeric composites with hybrid fillers. *Composites Part B: Engineering*. 2022. Vol. 232. 109613.
 14. Pavon C., Aldas M., Ferri J. M., et al. Identification of biodegradable polymers as contaminants in the thermoplastics recycling process Dyna. 2021. Vol. 96. N4. 415-421.
 15. Barratt S.T., Boyd S.P. Least squares auto-tuning. *Engineering Optimization*. 2021. Vol. 53. N5. 789-810.
 16. Luo X., Wang H., Li E. A surrogate assisted thermal optimization framework for design of pin-fin heat sink for the platform inertial navigation system. *Engineering Optimization*. 2021. Vol. 53. N1. 145-164.
 17. Yuan Z., Chen H., Cui H., et al. Effect of cooling rate on microstructure of B2-NiSC intermetallics. *Engineering Review*. 2019. Vol. 39. N3. 236-242.
 18. Masmoudi M., Hans E. W., Haït A. Tactical project planning under uncertainty: Fuzzy approach. *European Journal of Industrial Engineering*. 2016. Vol. 10. N3. 301-322.
 19. Fortunato R.N., Robertson A.M., Sang C., et al. Effect of Macro-calcification on the Failure Mechanics of Intracranial Aneurysmal Wall Tissue. *Experimental Mechanics*. 2021. Vol. 61. N1. 5-18.
 20. Zuo J.L., Zhang K., Wu S., et al. Numerical Modeling of Movements of Taylor Bubbles in Stagnant Liquid Hydrogen Fluids. *Experimental Techniques*. 2021.
 21. Boland S., Majidi S. Thermal Improvement in Double-Layered Microchannel Heat Sink with Incorporating Wavy Porous Fins. *Heat Transfer Engineering*. 2021.
 22. Jaszczur M., Hassan Q., Majewska E., et al. An Experimental and Numerical Investigation of Photovoltaic Module Temperature Under Varying Environmental Conditions. *Heat Transfer Engineering*. 2021. Vol. 42. N3-4. 354-367.
 23. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурылев Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. 56 с.
 24. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз) // *Технический сервис машин*. 2019. N4(137). С. 220-229.

REFERENCES

1. Shimizu S., Sato M., Koyanagi J., et al. Numerical simulation of compressive failure of carbon-fiber-reinforced plastic laminates with various hole shapes. *Advanced Composite Materials*. 2021. Vol. 30. N1. 58-75 (In English).
2. Speetjens M., Metcalfe G., Rudman M. Lagrangian Transport and Chaotic Advection in Three-Dimensional Laminar Flows. *Applied Mechanics Reviews*. 2021. Vol. 73. N3. 030801 (In English).
3. Grenyer A., Erkoyuncu J.A., Zhao Y., Schwabe O. Multistep prediction of dynamic uncertainty under limited data. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2022. Vol. 37. 37-54 (In English).
4. Yang X., Zhao J., Wang X., et al. Construction of metal organic framework-derived hollow-structured mesoporous carbon based lithium hydroxide composites for low-grade thermal energy storage. *Composites Part B: Engineering*. 2022. Vol. 232. 109604 (In English).
5. Guzalov A.S., Didmanidze O.N. Eksperimental'nye issledovaniya dopolnitel'nogo nadduva na dvigatele D-260.2 s elektroprivodom [Experimental studies of additional supercharging on engine d-260.2 with electric drive]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*. 2021. N2. 66-73 (In Russian).
6. Asadov D.G., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Osnovy povysheniya moshchnostnykh pokazateley v DVS na tyagovo-transportnykh sredstvakh [Fundamentals of increasing power indicators in internal combustion engines on traction vehicles]. Moscow: Avtograf. 2020. 70 (In Russian).
7. Vinogradov O.V., Moskvichev D.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019. Vol. 6. N3. 5289-5292 (In English).
8. Bolshakov N.A. Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Moderniza-

- tion of the cooling system in tractors with gas engines. *E3S Web of Conferences*. 2020. 04048 (In English).
9. Didmanidze O.N., Khakimov R.T., Parlyuk E.P., Bol'shakov N.A. Rezul'taty ispytaniy polimernogo radiatora sistemy okhlazhdeniya traktora MTZ-80 [Test results of a polymer radiator of mtz-80 tractor cooling system]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 55-60 (In Russian).
 10. Parlyuk E.P. Sovershenstvovanie okhlazhdayushchikh sistem avtotraktornykh dvigateley i metodov kontrolya ikh sostoyaniya [Improving the cooling systems of automotive engines and methods for monitoring their condition]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N5(287). 41-44 (In Russian).
 11. Parlyuk E.P., Pulyaev N.N., Kurilenko A.V. Mathematical efficiency model of the block-module cooling system of automotive vehicles and tractors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. 52061 (In English).
 12. Didmanidze O.N., Afanas'ev A.S., Khakimov R.T. Issledovaniya pokazateley teplovydeleniya gazovykh dvigateley [Studies of heat emission indicators of gas engines]. *Zapiski Gornogo instituta*. 2018. Vol. 229. 50-55 (In Russian).
 13. Qi W., Liu M., Wu J., et al. Promoting the thermal transport via understanding the intrinsic relation between thermal conductivity and interfacial contact probability in the polymeric composites with hybrid fillers. *Composites Part B: Engineering*. 2022. Vol. 232. 109613 (In English).
 14. Pavon C., Aldas M., Ferri J. M., et al. Identification of biodegradable polymers as contaminants in the thermoplastics recycling process Dyna. 2021. Vol. 96. N4. 415-421 (In English).
 15. Barratt S.T., Boyd S.P. Least squares auto-tuning. *Engineering Optimization*. 2021. Vol. 53. N5. 789-810 (In English).
 16. Luo X., Wang H., Li E. A surrogate assisted thermal optimization framework for design of pin-fin heat sink for the platform inertial navigation system. *Engineering Optimization*. 2021. Vol. 53. N1. 145-164 (In English).
 17. Yuan Z., Chen H., Cui H., et al. Effect of cooling rate on microstructure of B2-NiSC intermetallics. *Engineering Review*. 2019. Vol. 39. N3. 236-242 (In English).
 18. Masmoudi M., Hans E. W., Hait A. Tactical project planning under uncertainty: Fuzzy approach. *European Journal of Industrial Engineering*. 2016. Vol. 10. N3. 301-322 (In English).
 19. Fortunato R.N., Robertson A.M., Sang C., et al. Effect of Macro-calcification on the Failure Mechanics of Intracranial Aneurysmal Wall Tissue. *Experimental Mechanics*. 2021. Vol. 61. N1. 5-18 (In English).
 20. Zuo J.L., Zhang K., Wu S., et al. Numerical Modeling of Movements of Taylor Bubbles in Stagnant Liquid Hydrogen Fluids. *Experimental Techniques*. 2021 (In English).
 21. Boland S., Majidi S. Thermal Improvement in Double-Layered Microchannel Heat Sink with Incorporating Wavy Porous Fins. *Heat Transfer Engineering*. 2021 (In English).
 22. Jaszczur M., Hassan Q., Majewska E., et al. An Experimental and Numerical Investigation of Photovoltaic Module Temperature Under Varying Environmental Conditions. *Heat Transfer Engineering*. 2021. Vol. 42. N3-4. 354-367 (In English).
 23. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M. Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii sel'skokhozyaystvennykh traktorov i traktornogo parka Rossii na period do 2020 goda [The concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet of Russia for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. 56 (In Russian).
 24. Godzhaev Z.D., Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Tsench Yu.S., Zubina V.A. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva Rossii do 2030 goda (Prognoz) [Strategy of machine-technological modernization of agriculture in Russia until 2030 (Forecast)]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2019. N4(137). 220-229 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад авторов:

Парлюк Е.П. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, проведение мониторинга теплоотдачи масляных радиаторов системы охлаждения автотракторных двигателей.

Куриленко А.В. – проведение расчетов теплоотдачи масляных радиаторов системы охлаждения автотракторных двигателей, обработка результатов исследований, визуализация, доработка текста, формирование общих выводов и литературный анализ.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Parlyuk E.P. – scientific supervision, formulation of the research main directions, development of theoretical premises, monitoring the heat transfer from oil coolers of the automotive engines cooling system.

Kurilenko A.V. – calculations of heat transfer of oil coolers of the automotive engines cooling system, processing the research results, visualization, manuscript revision, formulating general conclusions and literature review.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

13.01.2022

21.04.2022