УДК 621.43

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-66-72

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТДАЧИ ЭЛЕМЕНТОВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ¹*Парлюк Екатерина Петровна*¹*Пуляев Николай Николаевич*¹*Дидманидзе Отари Назирович*¹*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»*

Реферат. Разрабатывали научно-методический подход для многокритериальной оценки срока эксплуатации автотракторной техники с целью повышение эффективности ее работы и безопасности. Использовали теоретико-методологические и научно- методические методы исследования. Рассматривали математическую модель многокритериальной структуры показателей качества работы автотракторной техники с учетом среды и срока ее эксплуатации. Применяя данный подход, разработан алгоритм получения оптимального варианта решения с использованием метода районирования с соблюдением иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды. В связи с успешной разработкой конструкций радиаторов представляется весьма актуальной задача выбора наиболее выгодной геометрической характеристики их поверхности охлаждения. Необходимым условием для этого является получение теоретических зависимостей тепловых и аэродинамических качеств радиатора от геометрических характеристик его поверхности охлаждения. Значение таких закономерностей является необходимым для проектирования любых типов теплообменников. На основе комплекса многокритериального анализа определения эффективности теплоотдачи элементов охлаждающей системы автотракторной техники, возможно сформулировать алгоритм выбора оптимального варианта искомого решения, реализуемый при методе районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды. Равномерность распределения вдоль теплообменной поверхности является одним из основных качественных показателей теплоносителя, которое имеет прямое влияние на аэродинамические и тепловые характеристики теплообменника.

Ключевые слова: теплообменник, радиатор, система охлаждения, многокритериальный анализ.

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT TRANSFER OF ELEMENTS OF THE COOLING SYSTEM OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT¹*Parlyuk Ekaterina*¹*Pulyaev Nikolay*¹*Didmanidze Otari*¹*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

Abstract. A scientific and methodological approach was developed for a multi-criteria assessment of the service life of automotive vehicles in order to increase the efficiency of its operation and safety. Theoretical-methodological and scientific-methodological research methods used. The mathematical model of the multicriteria structure of the quality indicators of the work of automotive vehicles, taking into account the environment and the period of its operation, was considered. Applying this approach, an algorithm for obtaining the optimal solution was developed using the zoning method in compliance with the hierarchical ratio of the probabilities of possible states of the external environment. In connection with the successful development of radiator designs, the task of choosing the most advantageous geometric characteristics of their cooling surface seems to be very urgent. A necessary condition for this is to obtain theoretical dependences of the thermal and aerodynamic qualities of the radiator on the geometric characteristics of its cooling surface. The significance of such patterns is necessary for the design of any types of heat exchangers. Based on a complex of multi-criteria analysis of determining the

efficiency of heat transfer of elements of the cooling system of automotive equipment, it is possible to formulate an algorithm for choosing the optimal variant of the desired solution, implemented with the zoning method based on the principle of compliance with the hierarchical ratio of probabilities of possible environmental conditions. The uniformity of distribution along the heat exchange surface is one of the main qualitative indicators of the coolant, which has a direct impact on the aerodynamic and thermal characteristics of the heat exchanger.

Keywords: heat exchanger, radiator, cooling system, multi-criteria analysis.

Введение. При решении любой задачи оптимизации принимаемого решения отталкиваются от трех основных понятий (таблица 1).

Таблица 1 – Основные понятия для решения задач оптимизации

Понятия□	Обозначения□
множество видов критериев (состояний внешней среды)□	n □
множество возможных решений (действий)□	m □
эффективность любого решения при каждом виде обстановки□	a □

Тогда имеем : a_{ij} – эффективность i -го действия для j -го состояния среды эксплуатации автотракторной техники, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

Матрица эффективностей различных действий при различных вариантах решения имеет вид:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для выбора оптимального действия, используя теорему Байеса, принимается обращение $\bar{a}_{jn}$ в максимум или минимум с.

Сформулированы основные положения решения данной задачи на основе метода районирования - разбиения всего множества возможных состояний «природы факторов» на подмножества доминирования отдельных действий (районы) (таблица 2).

Таблица 2 – Основные положения решения задачи

№ п/п□	Положения□
1□	Необходимо выбрать способ районирования, представляющего собой обратную параметрическую задачу линейного программирования□
2□	При решении задач с «природой факторов» (матричных игр) принимается условие непрерывности функции показателей эффективности от изменения вектора состояния природы. предлагается использовать методы векторной оптимизации. Для решения многокритериальных задач во многих случаях можно использовать аппарат теории игр с «природой».□
3□	Вероятности состояний природы факторов (критериев) p_j по смыслу адекватны коэффициентам относительной важности критериев c_j , т.е. $p_j \equiv c_j$ □
4□	Районирование целесообразно производить не по принципу доминирования отдельных действий, а по принципу сохранения заданного иерархического соотношения возможных состояний «природы».□

Тогда коэффициенты относительной важности для определённых критериев эффективности должны определяться совокупностью $(n - 1)$ независимых величин:

$$0 \leq c_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n c_j = 1, \quad (2)$$

Поле в виде прямоугольного единичного гипертетраэдра в пространстве $(n - 1)$ измерений $\sum_{j=1}^{n-1} c_j$ подходит для описания множества распределений. Его можно получить в декартовой системе координат $c_1, c_2, \dots, c_{n-1}$ при пересечении положительного гипероктанта гиперплоскостью, отсекающей на каждой из координатных осей единичный отрезок.

Возьмем следующую последовательность коэффициентов относительной важности:

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_i \geq \dots \geq c_{n-1} \geq c_n \quad (3)$$

Общее количество последовательностей такого типа для распределений системы (2) определяется количеством перестановок $(n!)$.

Решая задачу эффективности работы автотракторной техники, составим согласно, выше указанной теории, матрицу эффективностей различных действий при различных вариантах решения из уравнения (1).

Рассмотрим на основе метода районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды (критериев) решение задачи с основными параметрами эффективности работы системы охлаждения функциональных агрегатов автотракторной техники как основы, на конкретном примере радиаторов системы охлаждения трактора МТЗ-80

Результаты и обсуждение. Начинаем решение задачи методом многокритериального анализа с выбора критериев и внешних условий незамкнутой системы. Критерии выбираем на основе теплотехнических показателей (Q , ΔP_2 , q) радиаторов из блочно-модульной охлаждающей системы, изготовленных из различных конструктивных материалов (алюминия, медного сплава и полиуретана). Критерий $K1 = Q$ – критерий по теплоотдаче (Вт/К), $K2 = \Delta P_2$ – критерий по аэродинамическому сопротивлению (Па). Внешним условием для всех исследуемых радиаторов является расход воздуха, который изменяется с 2008,86 до 5014,69 кг/ч.

Медно-латунный радиатор 70У.1301.010 (образец № 1), системы охлаждения двигателя автотракторной техники с плоскоовальными трубками по фронту радиатора и пластинчатым оребрением паяной конструкции производства ООО «Оренбургский радиатор».

Результаты испытаний приведены в таблицах 3 – 9.

Таблица 3 – Результаты испытаний радиатора 70У.1301.010 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	K1 - Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К
2008,86	279,21
2984,91	363,07
4006,62	438,04
5014,69	507,8

Таблица 4 – Результаты испытаний радиатора 70У.1301.010 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	K2 - аэродинамическое сопротивление, Па
2008,86	10,3
2984,91	23,57
4006,62	39,03
5014,69	60,87

Алюминиевый радиатор LRc 0680 (образец № 2), системы охлаждения двигателя автомобиля с плоскоовальными трубками по фронту радиатора и пластинчатым оребрением паяной конструкции производства ООО «Торговый Дом Лузар»

Радиатор МТЗ-80 на основе полиуретановой сердцевины (образец № 3), полиуретановый, системы охлаждения двигателя автотракторной техники с полиуретановыми трубками по фронту радиатора и без оребрения производства ОНИЛТА им. В. В. Буркова ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Таблица 5 – Результаты испытаний радиатора LRc 0680 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	K1 – Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К
2033,89	316,68
2996,2	397,72
4001,72	469,54
4972,55	541,17

Таблица 6 – Результаты испытаний радиатора LRc 0680 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	K2 – Аэродинамическое сопротивление, Па
2033,89	9,47
2996,2	18,53
4001,72	30,52
4972,55	46,39

Таблица 7 – Результаты испытаний радиатора MT3-80 по теплоотдаче

Расход воздуха, кг/ч	K1 - Приведенная теплоотдача к 1 К, Вт/К
2000,79	186,38
2988,72	267,87
4024,71	353,86
4988,63	457,85

Таблица 8 – Результаты испытаний радиатора MT3-80 по аэродинамическому сопротивлению

Расход воздуха, кг/ч	K2 - Аэродинамическое сопротивление, Па
2000,79	16,28
2988,72	35,89
4024,71	67,89
4988,63	120,42

Сформируем матрицу эффективности (таблица 9).

Таблица 9 – Матрица эффективности

№	K1	K2	Эффективность при K1 > K2
1	279,21	10,3	0,36
2	316,68	9,47	0,41
3	186,38	16,28	0,24
	max	min	

Введите количество критериев (N) Введите количество решений (M)

	K0	K1
D0	279,21	10,3
D1	316,68	9,47
D2	186,38	16,28
... min-max	max	min

Рисунок 1 – Интерфейс матрицы эффективностей

Следует иметь в виду возможную различную размерность показателей и возможную несопоставимость их по абсолютному значению величины, поэтому возникает необходимость представления показателей в относительных единицах. Необходимо также учитывать стремление к максимуму или к минимуму части показателей (рисунок 2).

Учитывая сказанное выше, представляем новую матрицу эффективности с элементами δ_{ij} (численные значения показателей), выраженными в относительных единицах, с использованием формулы (4):

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, & \text{если } i - \text{й показатель максимизируется,} \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}}, & \text{если } i - \text{й показатель минимизируется.} \end{cases} \quad (4)$$

Введите количество критериев (N)	2	Введите количество решений (M)	3	Ввод
	K0	K1		
D0	0,357	0,367		
D1	0,405	0,400		
D2	0,238	0,233		
► min-max	max	min		

Рисунок 2 – Численные значения показателей матрицы, представленные в относительных единицах

Заключение. Таким образом, алгоритм для выбора оптимального варианта искомого решения (D_i) при реализации его в методе районирования по принципу соблюдения иерархического соотношения вероятностей возможных состояний внешней среды следующий:

1. Получение последовательности (3) по относительной важности показателей C_j ;
2. Решение задачи линейного программирования для каждого сравниваемого варианта i :

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{cases} \quad (5),$$

что позволяет получение ряда аналитических решений, например:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k, \end{cases} \quad (6)$$

По проведенному анализу областей устойчивости решений выбрано следующее аналитическое выражение для повышения чувствительности к параметрам оптимизации:

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j = k \\ \frac{\lambda}{k}, & \text{если } j < k, \text{ где } \lambda = \frac{n-1}{n}. \\ \frac{1-\lambda}{n-k}, & \text{если } j > k \end{cases} \quad (7)$$

где в обоих случаях индекс k определяется из условия $a_{kj} = \max_j a_{ij}$.

3. Определяется оптимальный вариант по нескольким критериям варианта f из соотношения (рисунок 3):

$$d_f = \max_{1 \leq i \leq m} d_i \quad (8)$$

Рисунок 3 – Определение оптимального варианта

По аналогии можно рассчитать эффективность в любой системе, состоящий из неограниченного количества ряда входов (варианты выбора) и неограниченного количества критериев.

Список литературы

1. Арифиллин И. В., Терентьев А. В. Общая методика планирования многофакторного анализа при решении технологических задач авторемонтного производства // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 11. – С. 63-66. – DOI 10.36535/0236-1914-2019-11-12.
2. Арифиллин И. В., Терентьев А. В., Таланова И. Н. Многокритериальная аналитическая модель определения срока эксплуатации автомобиля // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 4(59). – С. 3-8.
3. Обоснование расчёта автотракторного радиатора системы охлаждения с использованием полимерных материалов / О. Н. Дидманидзе, С. М. Гайдар, Е. П. Парлюк, Н. А. Большаков // Чтения академика В. Н. Болтинского: семинар, Москва, 20–21 января 2021 года. – Москва: ООО "Сам Полиграфист", 2021. – С. 44-50.
4. Парлюк Е. П. Оценка снижение эффективности работы теплообменников, функционирующих в составе блочных систем охлаждения // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 194-197.
5. Дидманидзе О. Н., Большаков Н. А., Хакимов Р. Т. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей путем совершенствования охлаждающих систем // Автотранспортная техника XXI века: сборник статей III Международной научно-практической конференции, Москва, 29 октября 2018 года / Под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зимина, Д.В. Виноградова. – Москва: ООО "Мегаполис", 2018. – С. 29-45.
6. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Анализ методов определения показателя – срок эффективной эксплуатации автомобиля // Материалы 1-й Региональной межвузовской научно-практической конференции. Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. – СПб: НМСУ «Горный», 2013 – С. 68–72.
7. Лотов А. В., Пospelова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений. – М.: МАКС Пресс. – 2008. – 197 с.
8. Петриченко Г. С., Петриченко В. Г. Оценка эффективности программного обеспечения [Электронный ресурс] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2016. – № 9 (230). – Режим доступа: URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnostiprogrammnogo-obespecheniya>.

References

Arifullin I. V., Terent'ev A. V. Obshchaya metodika planirovaniya mnogofaktornogo analiza pri reshenii tekhnologicheskikh zadach avtoremontnogo proizvodstva // Transport: nauka, tekhnika,

upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik. – 2019. – № 11. – S. 63-66. – DOI 10.36535/0236-1914-2019-11-12.

2. Arifullin I. V., Terent'ev A. V., Talanova I. N. Mnogokriterial'naya analiticheskaya model' opredeleniya sroka eksploatacii avtomobilya // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). – 2019. – № 4(59). – S. 3-8.

3. Obosnovanie raschyota avtotraktorного радиатора системы охлаждения с использованием полимерных материалов / O. N. Didmanidze, S. M. Gajdar, E. P. Parlyuk, N. A. Bol'shakov // CHteniya akademika V. N. Boltinskogo : seminar, Moskva, 20–21 yanvarya 2021 goda. – Moskva: OOO "Sam Poligrafist", 2021. – S. 44-50.

4. Parlyuk E. P. Ocenka snizhenie effektivnosti raboty teploobmennikov, funkcioniruyushchih v sostave blochnyh sistem ohlazhdeniya // Doklady TSKHA, Moskva, 02–04 dekabrya 2020 goda. – Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet - MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2021. – S. 194-197.

5. Didmanidze O. N., Bol'shakov N. A., Hakimov R. T. Uluchshenie eksploatacionnyh pokazatelej avtomobilej putem sovershenstvovaniya ohlazhdayushchih sistem // Avtotransportnaya tekhnika XXI veka: sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 29 oktyabrya 2018 goda / Pod redakciej O.N. Didmanidze, N.E. Zimina, D.V. Vinogradova. – Moskva: OOO "Megapolis", 2018. – S. 29-45.

6. Terent'ev A.V., Prudovskij B.D. Analiz metodov opredeleniya pokazatelya – srok effektivnoj eksploatacii avtomobilya // Materialy 1-j Regional'noj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Innovacionnye sistemy planirovaniya i upravleniya na transporte i v mashinostroenii. – SPb: NMSU «Gornyj», 2013 – S. 68–72.

7. Lotov A. V., Pospelova I. I. Mnogokriterial'nye zadachi prinyatiya reshenij. – M.: MAKSS Press. – 2008. – 197 s.

8. Petrichenko G. S., Petrichenko V. G. Ocenka effektivnosti programmno obespecheniya [Elektronnyj resurs] // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. – 2016. – № 9 (230). – Rezhim dostupa: URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnostiprogrammnogo-obespecheniya>.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации.

Парлюк Екатерина Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Пуляев Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: inpo.msau@gmail.com.

Дидманидзе Отари Назирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

Author credentials

Affiliations

Parlyuk Ekaterina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru.

Pulyaev Nikolay – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: inpo.msau@gmail.com.

Didmanidze Otary – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Tractors and Automobiles of Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: didmanidze@rgau-msha.ru.

Поступила в редакцию (Received): 31.08.2021 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2021