

Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива

Сергей Николаевич Девянин,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: devta@rambler.ru;
Антон Владиславович Бижаев,
канд. техн. наук, доцент,
e-mail: a.bizhaev@mail.ru;
Ярослав Дмитриевич Павлов,
ассистент,
e-mail: ya.pavlov@rgau-msha.ru;

Софья Михайловна Ветрова,
ассистент, аспирант,
e-mail: s.vetrova@rgau-msha.ru;
Алина Сергеевна Барчукова,
ассистент, аспирант,
e-mail: barchukova@rgau-msha.ru

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

Реферат. Отметим, что оснащение сельскохозяйственных мобильных машин датчиками и электронным управлением позволяет удаленно получать в режиме реального времени информацию о техническом состоянии систем двигателя в процессе эксплуатации машины. (*Цель исследования*) Разработать методику определения многопараметровой характеристики удельного эффективного расхода топлива на примере двигателя *Deutz BF 6M 2012 C* трактора *Terrior ATM 4200*. (*Материалы и методы*) Проведен анализ данных системы электронного управления. С применением подключенного логического анализатора *Logic Analyzer 8* получена многопараметровая характеристика двигателя по удельному расходу топлива с CAN-шины в процессе эксплуатации машины. Разработана методика статистической обработки данных с помощью программы *Statistica 10*. Составлены уравнения регрессии зависимости расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя. Значения коэффициента детерминации и критерия Фишера подтвердили статистическую значимость связи расхода топлива во всей области рабочих режимов с выбранными параметрами. (*Результаты и обсуждение*) Данные многопараметровой характеристики, отражающей зависимость расхода топлива от частоты и момента вращения двигателя, совпадают с данными завода-производителя, что дополнительно подтверждает истинность полученных регрессионных уравнений. (*Выводы*) Предлагаемая последовательность действий для получения многопараметровой характеристики может быть реализована в отношении иных показателей работы двигателя. Контроль за показателями эксплуатации с целью анализа информации о техническом состоянии узлов и агрегатов машины необходим для диагностики и своевременного технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: интеллектуальная система, контроль технического состояния, мониторинг системы двигателя, эксплуатационные показатели, техническая диагностика.

■ **Для цитирования:** Девянин С.Н., Бижаев А.В., Павлов Я.Д., Ветрова С.М., Барчукова А.С. Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 68-74. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74. EDN: VSCVNM.

Parametric Characterization of a Tractor Engine by Specific Fuel Consumption

Sergey N. Devyanin,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: devta@rambler.ru;
Anton V. Bizhaev,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: a.bizhaev@mail.ru;
Yaroslav D. Pavlov,
assistant,
e-mail: ya.pavlov@rgau-msha.ru;

Sofya M. Vetrova,
assistant, graduate student,
e-mail: s.vetrova@rgau-msha.ru;
Alina S. Barchukova,
assistant, graduate student,
e-mail: barchukova@rgau-msha.ru

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

Abstract. The paper highlights that equipping agricultural mobile machines with sensors and electronic controls enables the remote acquisition of real-time information regarding the technical condition of engine systems while operation. (*Research purpose*) The objective of this research is to formulate a methodology for determining the multi-parameter characteristics of specific effective fuel consumption. This is illustrated through an examination of the *Deutz BF 6M 2012 C* engine, installed in the of the *Terrion ATM 4200* tractor. (*Materials and methods*) The electronic control system was examined through data analysis. Utilizing *Logic Analyzer 8*, a connected logic analyzer, facilitated the extraction of a multi-parameter characteristic related to the specific fuel consumption of the engine. This data was obtained from the *CAN* bus while the machine was in operation. A statistical data processing method was developed using the *Statistica 10* program. Regression equations were formulated to illustrate the correlation between fuel consumption, crankshaft speed and engine torque. The statistical significance of the relationship between fuel consumption across the entire range of operating modes and the selected parameters was corroborated by the values of the coefficient of determination and Fisher's criterion. (*Results and discussion*) The data from the multi-parameter characteristic, illustrating the correlation between fuel consumption, engine speed, and torque, aligns with the information provided by the manufacturing plant. This alignment further validates the accuracy of the derived regression equations. (*Conclusions*) The suggested sequence of steps for obtain a multi-parameter characteristic can be applied to other engine performance indicators. Monitoring operational performance to analyze information on the technical condition of machine components and assemblies is necessary for diagnostics and ensuring timely maintenance and repair.

Keywords: intelligent system, technical condition monitoring, engine system monitoring, performance indicators, technical diagnostics.

■ **For citation:** Devyanin S.N., Bizhaev A.V., Pavlov Ya.D., Vetrova S.M., Barchukova A.S. Parametricheskaya kharakteristika dvigatelya traktora po udel'nomu raskhodu topliva [Parametric characterization of a tractor engine by specific fuel consumption]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 68-74 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74. EDN: VSCVNM.

Предсказуемость в работе двигателя влияет на производительность сельскохозяйственной техники, возможность выполнения операционных функций, предотвращения неисправностей. Постоянный мониторинг технического состояния двигателя способствует сокращению простоев и потерь урожая, оптимальному использованию ресурсов.

Современные двигатели оснащены электронными системами с датчиками контроля различных параметров. Это создает возможность управлять работой агрегатов по заложенным алгоритмам, используя данные, которые передаются по *CAN*-шине [1]. По этой информации можно не только непрерывно оценивать техническое состояние систем трактора по заложенным в диагностическую систему кодам неисправностей, но также создавать другие алгоритмы, расширяя количество контролируемых узлов и своевременно обнаруживая неисправности [2].

Оснащение стандартными диагностическими разъемами позволяет развивать различные диагностические методики, в том числе дистанционные [3]. Скорость и уровень диагностики определяются алгоритмами сбора и обработки считанных данных [4]. В связи с этим возникает необходимость цифровизации и автоматизации процесса сбора и анализа данных с целью удаленного контроля состояния сельскохозяйственной техники в процессе эксплуатации. Уровень развития современных электронных систем позволяет решить такие вопросы [5].

Алгоритмы, предполагающие сложные вычисли-

тельные процессы, не во всех случаях могут выполняться на процессорах с ограниченным объемом памяти бортовых компьютеров. Обмен данными с более производительным удаленным компьютером не всегда возможен, поэтому предпочтительно разрабатывать алгоритмы, реализуемые также на процессорах с небольшими ресурсами [6].

Цель исследования. Разработка методики получения многопараметрической характеристики удельного эффективного расхода топлива тракторного двигателя по данным системы электронного управления.

Материалы и методы. В настоящее время по стандартным протоколам можно получать информацию с машин удаленно и при помощи установки приемно-передающего устройства в стандартный разъем *OBD-2* передавать информацию на периферийные устройства. Однако отсутствует характеристика для комплексной оценки технических параметров двигателя индивидуальной машины или парка машин в удаленном режиме [7]. С помощью такой характеристики можно прогнозировать работоспособность машины и необходимость технического обслуживания [8].

Для анализа эффективности работы двигателя обычно проводится стендовое испытание, оцениваются значения ключевых показателей и их характер при различных значениях частоты вращения и нагрузки двигателя [9]. В качестве критерия эффективности обычно используется удельный эффективный расход топлива в процессе эксплуатации машины. В целях получения многопараметровой характеристи-

ки двигателя по этому критерию на основе данных CAN-шины были поставлены задачи:

- оценить информацию с диагностического разьема на примере трактора *Terrion ATM 4200* с двигателем *Deutz BF 6M 2012 C*;
- разработать методику статистической обработки данных для получения регрессионных зависимостей;
- оценить область рабочих режимов и предложить способ ее разделения на зоны, чтобы снизить требования к возможностям вычислительного процессора;
- получить вид уравнения регрессии для всей области рабочих режимов.

Универсальный трактор 4-го тягового класса *Terrion ATM 4200* с двигателем *Deutz BF 6M 2012 C* используется при возделывании культур сплошного высева и пропашных в составе широкозахватных и комбинированных агрегатов. Двигатель рабочим объемом 6,05 л с водяным охлаждением, турбонаддувом и интеркулером, шестицилиндровый, максимальная мощность 200 л.с. (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Открытый доступ. Дата обращения: 11.09.2022). Данные с диагностического разьема получали с применением оборудования с логическим анализатором *Logic Analyzer 8*, обработку данных проводили с помощью программы *Statistica 10*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Методика статистической обработки данных включала:

- получение области рабочих режимов двигателя с разбивкой на зоны для дальнейшей обработки;
- определение вида и получение уравнений регрессии для каждой зоны рабочих режимов двигателя;
- получение общего уравнения регрессии для всей области рабочих режимов на основании уравнений для каждой зоны.

В течение 208 секунд работы трактора с CAN-шины были считаны данные, представленные в виде маркеров на области рабочих режимов двигателя (рис. 1).

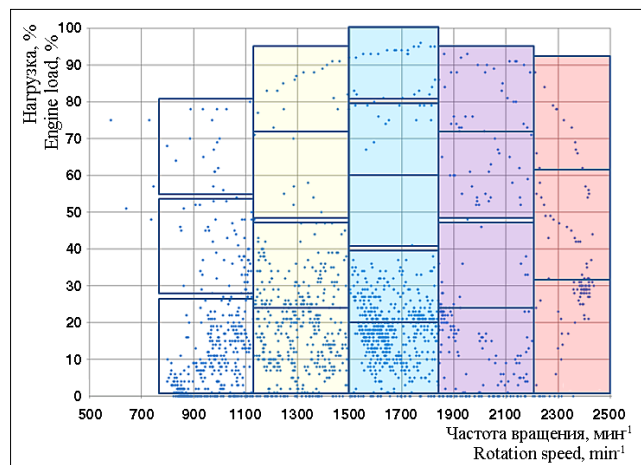


Рис. 1. Область зарегистрированных режимов двигателя с разбивкой на зоны

Fig. 1. Segmentation of registered engine modes

Расшифровка производилась по стандарту CAN с протоколом *J1939-71* [10]. Массив зарегистрированных данных включал 482880 значений (30180 строк и 16 столбцов). Получить уравнения регрессии, анализируя такой массив данных с помощью не только бортового компьютера, но и современных программных средств, достаточно проблематично. Поэтому было предложено анализировать отдельные зоны области рабочих процессов с количеством зарегистрированных режимов (строк) не более 250.

Математическое описание изменения удельного расхода топлива

Область рабочих режимов была разделена по частоте вращения двигателя на пять диапазонов: 750-1100, 1101-1450, 1451-1800, 1801-2150, 2151-2500 мин⁻¹ (соответственно области *a, b, c, d, e*). Каждая область дополнительно разделена по нагрузке, исходя из плотности данных: *a* и *e* – на три части, *b* и *d* – на четыре, *c* – на пять частей и условно обозначена по диапазону частоты вращения (*a, b, c, d, e*) и по нагрузке (1, 2, 3, 4, 5).

Для каждой зоны получены уравнения в соответствии с методикой регрессионного анализа данных и созданы матрицы зависимости часового расхода топлива от частоты вращения и нагрузки двигателя:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_5 \end{pmatrix}; X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{11} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{15} & \dots & x_{15} \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_5 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где Y – вектор-столбец расхода топлива; X – матрица данных для пяти показателей; A – вектор-столбец коэффициентов регрессии.

В результате корреляционного анализа определены основные параметры уравнения: x_1 – частота вращения, мин⁻¹; x_2 – нагрузка (крутящий момент двигателя), %; x_3 – произведение x_1 и x_2 ; x_4 – квадрат частоты вращения; x_5 – квадрат нагрузки. Из этих факторов использовались только частота вращения и крутящий момент, так как двигатель был прогрет (75-80°C) и вязкость моторного масла не оказывала влияние на тепловое состояние.

Уравнение регрессии для определения расхода топлива

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5. \quad (2)$$

В результате множественного регрессионного анализа для каждой зоны, в которой зарегистрированы более семи режимов, получены уравнения регрессии:

$$G_{TO} = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot M_{KO} + A_3 \cdot n \cdot M_{KO} + A_4 \cdot n^2 + A_5 \cdot M_{KO}^2, \quad (3)$$

где G_{TO} – объемный часовой расход топлива, л/ч;

n – частота вращения двигателя, мин⁻¹;

M_{KO} – относительное значение крутящего момента, %;

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ – коэффициенты уравнения регрессии для каждой зоны.

Например, для крайней левой нижней зоны a_1 ($n = 750-1100$ мин⁻¹ и $M_{KO} = 0-27\%$):

Таблица

Table

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЗОН РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ / RESULTS OF WORK AREA ANALYSIS

Зона / Area	R^2	F	F_T	$x_1, \text{мин}^{-1} / x_1, \text{min}^{-1}$	$x_2, \%$	$Y, \text{л/ч} / Y, \text{l/h}$
a1	0,9862	3462	1,0	925	14	3,95
a2	0,9718	1910	1,0	1275	13	5,18
a3	0,9885	4195	1,0	1625	10	5,79
a4	0,993	3578	1,26	1975	13	8,03
a5	0,9985	9448	1,39	2325	15	10,41
b1	0,9827	431	1,92	925	41	8,33
b2	0,9908	2274	1,28	1275	37	10,54
b3	0,9636	917	1,2	1625	30	11,46
b4	0,9967	546	2,46	1975	37	17,08
b5	0,9985	46334	1,53	2325	45	22,53
c1	0,9912	336	1,96	925	68	12,71
c2	0,951	11,6	9,36	1275	61	16,14
c3				1625	50	
c4	0,9916	402	1,88	1975	61	24,80
c5	0,9984	1697	2,01	2325	75	34,82
d2	0,9943	313	2,46	1275	84	21,10
d3	0,9973	583	2,9	1625	70	22,90
d4	0,996	1337	1,72	1975	84	32,77
e3	0,998	1660	1,88	1625	90	29,05

$$G_{\text{ТО}} = 0,3817 + 0,8311 \cdot 10^{-3} \cdot n + 11,69 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{К}} + 0,1583 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot M_{\text{К}} + 0,6131 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0,3274 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{К}}^2, \text{ л/ч.}$$

Для зоны c3 не удалось получить уравнение регрессии, так как в процессе регистрации данных в нее не попал ни один зарегистрированный режим и в дальнейшем анализе она не рассматривалась.

Оценку уравнения проводили с помощью коэффициента детерминации (R^2) и критерия Фишера (F). При условии, что $R^2 > 0,8$ и $F > F_T$ (F_T – табличное значение критерия для принятой доверительной вероятности р при имеющихся степенях свободы) уравнение использовалось в дальнейшей работе. Для крайней левой нижней зоны (a1) $R^2 = 0,9862$, $F = 3462$ ($F_T = 1,0$).

Результаты регрессионного анализа зон области рабочих режимов двигателя для доверительной вероятности $p = 0,9$ сведены в таблицу.

Выбранный вид уравнений регрессии с доверительной вероятностью 90% достоверно описывает изменение часового расхода топлива $G_{\text{ТО}}$ в зависимости от двух факторов: частоты вращения n и нагрузки $M_{\text{КО}}$.

Общие уравнения регрессии для всей области рабочих режимов определяли следующим образом. Для каждой зоны выбиралась режимная точка по значению ее центра (центр диапазона по частоте вращения x_1 и нагрузке двигателя x_2). Далее определяли расчетные значения часового расхода топлива $G_{\text{ТО}i}$ на каждом из режимов каждой зоны; в таблице они представлены в виде искомой функции Y .

Используя матрицу из 18 значений целевой функции Y и влияющих факторов x_i для всей области рабочих режимов, с применением регрессионного анализа определяются уравнения вида (3).

С помощью программы *Statistica 10* получено итоговое уравнение регрессии для всей области:

$$G_{\text{ТО}} = -0,7219 + 2,6123 \cdot 10^{-3} \cdot n + 4,93 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{КО}} + 0,1743 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot M_{\text{КО}} - 0,2092 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 - 0,0172 \cdot 10^{-3} \cdot M_{\text{КО}}^2, \text{ л/ч.}$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9997$, коэффициент Фишера $F = 7059$. Критическое значение критерия Фишера для доверительной вероятности $p = 0,9$ составляет $F_T = 2,14$, что подтверждает статистическую значимость связи расхода топлива во всей области рабочих режимов от выбранных параметров.

Анализ эффективности работы двигателя обычно выполняется по удельному эффективному расходу топлива g_e , который является результатом деления массового часового расхода топлива (G_T) на производимую эффективную мощность (N_e) для рассматриваемого режима работы:

$$g_e = G_T / N_e, \quad (4)$$

где $G_T = G_{\text{ТО}} \cdot \rho_T$ (ρ_T – плотность топлива).

Для определения эффективной мощности N_e необходимо знать кроме частоты вращения абсолютное значение крутящего момента M_K . Это значение может быть получено для известного значения момента при каком-либо относительном значении $M_{\text{КО}}$ для каждой

частоты вращения. В качестве известного значения предлагается величина номинального крутящего момента M_H и его изменение $M(n)$ по внешней скоростной характеристике. Значение $M(n)$ определяется с помощью коэффициента запаса крутящего момента k_M :

$$k_M = M(n)/M_H. \quad (5)$$

Значения k_M для различной частоты вращения, полученные по внешней скоростной характеристике дизеля Deutz BF 6M 2012 C приведены на рисунке 2.

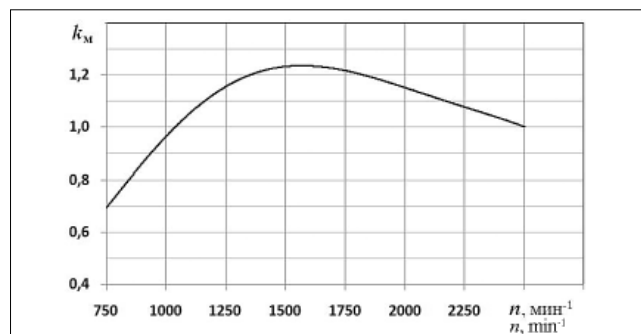


Рис. 2. Изменение коэффициента момента k_M по частоте вращения n для двигателя Deutz BF 6M 2012 C (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Открытый доступ. Дата обращения: 11.09.2022)

Fig. 2. Change in torque coefficient k_M by rotation speed n for the Deutz BF 6M 2012 C engine (URL: https://istk-deutz.ru/dvigateli-deutz/dvigatel_deutz_bf06m2012c/ Open access. Access date: 09.11.2022)

Имея полученное уравнение (4) для расчета G_{TO} (л/ч), плотность топлива ρ_T (кг/м³), для каждого режима по частоте вращения n (мин⁻¹), нагрузке M_{KO} (%), коэффициенту k_M и номинальному значению крутящего момента двигателя M_H (Н·м) удельный эффективный расход топлива g_e (г/кВт·ч) может быть определен по зависимости:

$$g_e = 9550 \cdot (G_{TO} \cdot \rho_T) / (n \cdot M_{KO} \cdot k_M). \quad (6)$$

В результате обработки переданных по CAN-шине данных при номинальном значении $M_H = 592$ Н·м и плотности дизельного топлива $\rho_T = 820$ кг/м³ получена многопараметровая характеристика изменения удельного эффективного расхода топлива g_e в области рабочих режимов двигателя (рис. 3).

Обобщение информации по отдельным зонам для всей рабочей области позволило включить в анализ большое количество режимов работы двигателя. Минимальный расход топлива, равный 200-220 г/(кВт·ч), находится в 10-м диапазоне. По данным фирмы Deutz, этот показатель составляет 202 г/(кВт·ч), т.е. расчетное значение попадает в пределы, указанные компанией-производителем.

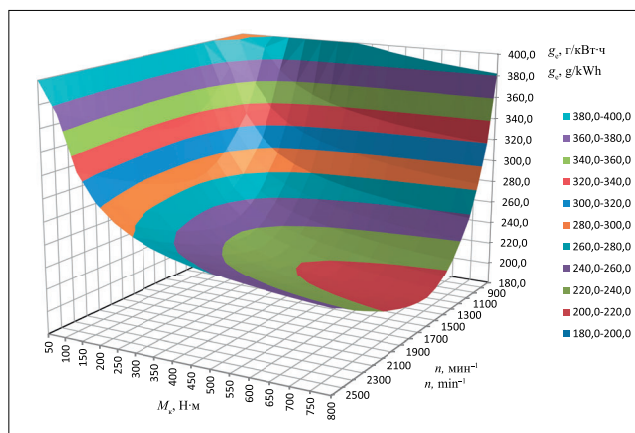


Рис. 3. Многопараметровая характеристика двигателя удельного расхода топлива двигателя Deutz BF 6M 2012 C в зависимости от удельного эффективного расхода топлива, крутящего момента и частоты вращения

Fig. 3. Multi-parameter characteristics of specific fuel consumption for the Deutz BF 6M 2012 C depending on the specific effective fuel consumption, engine torque and rotation speed

Выводы

Разработана методика получения многопараметровой характеристики удельного эффективного расхода дизельного топлива по результатам анализа данных системы управления тракторного двигателя в процессе эксплуатации.

В уравнении регрессии часовой расход топлива рассматривается как функция от частоты вращения и нагрузки двигателя и позволяет получать достоверную зависимость по массиву данных не менее восьми зарегистрированных режимов. Таким образом для различных зон рабочих режимов двигателя возможно получить уравнения регрессии с коэффициентом детерминации не менее 0,95.

Разработанная методика позволяет реализовать статистический анализ режимов работы дизеля с разбивкой всей области как минимум на восемь зон. Для 18 таких зон получена регрессионная зависимость для всей области рабочих режимов с коэффициентом детерминации $R^2 \approx 1,0$ и критерием Фишера $F = 7059$, подтверждающих достоверность полученной зависимости. Расчетная величина удельного расхода топлива попадала в диапазон 200-220 г/(кВт·ч) с отклонением $\pm 5\%$.

Предложенный подход может быть реализован по другим показателям двигателя и их изменениям в процессе эксплуатации. По результатам анализа можно оценить техническое состояние отдельных узлов и агрегатов машины и своевременно провести техническое обслуживание или ремонт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Градов Е.А. Бесконтактная диагностика определения технического состояния двигателей внутреннего сгорания энергонасыщенной сельскохозяйственной техники // *Технический сервис машин*. 2023. N2. С. 32-39. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. EDN: CCWBKW.
2. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. и др. Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения // *Агроинженерия*. 2023. N25(5). С. 34-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.
3. Валиев А.Р., Абдразаков Ф.Г., Сосницкий В.В. Организация диагностирования подвижного состава в режиме реального времени. *Journal of Advanced Researching Technical Science*. 2019. N14-2. С. 200-204. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-200-204. EDN: BRRELI.
4. Abediasl H., Ansari A., Hosseini V., Koch C.R., Shahbakhhti M. Real-time vehicular fuel consumption estimation using machine learning and on-board diagnostics data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2023. DOI: 10.1177/095-44070231185609.
5. Qiu Z., Shi G., Zhao B., Jin X., Zhou L. Combine harvester remote monitoring system based on multi-source information fusion. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 194. 106771. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106771.
6. Катаев Ю.В. Диагностирование технического состояния мобильных энергетических средств с использованием цифровых технологий // *Технический сервис машин*. 2023. N1. С. 21-28. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28.
7. Торопов Е.И., Трусов Ю.П., Вашурин А.С., Мошков П.С. Оценка точности измерения расхода топлива на основе данных из бортовой сап-шины. *Справочник. Инженерный журнал*. 2021. N12 (297). С. 32-38. DOI: 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038. EDN: ZNGHGX.
8. Девянин С.Н., Щукина В.Н. Оценка технического состояния двигателя по расходу топлива в режиме холостого хода. *Техника и оборудование для села*. 2019. N1. С. 34-38. EDN: YZCLFB.
9. Бижаев А.В., Симеон А.А. Применение пальмового масла в качестве присадки к топливу тракторных дизельных двигателей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N6. С. 41-46. EDN: YLSVMV.
10. Назаров Н.Н., Некрасова И.В. Оценка и выбор машинно-тракторных агрегатов при культивации по энергетическим затратам // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2022. N52(1). С. 70-80. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-8>.
11. Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Бесконтактная диагностика двигателя трактора через сап-интерфейс // *Техника и оборудование для села*. 2023. N8. С. 36-39. EDN: SZBRR1.

REFERENCES

1. Gradov E.A. Beskontaktnaya diagnostika opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya energonasyshchennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The contactless diagnostics to determine the technical condition of internal combustion engines of high-energy agricultural machinery]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2023. N2. 32-39 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-32-39. EDN: CCWBKW.
2. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V., et al. Distantionnyy kontrol' chastoty vrashcheniya kolenchatogo vala dvigatelya traktora s ispol'zovaniem algoritma mashinnogo obucheniya [Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm]. *Agroinzheneriya*. 2023. N25(5). 34-39 (In Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.
3. Valiev A.R., Abdrazakov F.G., Sosnitskiy V.V. Organizatsiya diagnostirovaniya podvizhnogo sostava v rezhime real'nogo vremeni [Organization of rolling stock diagnostics in real time]. *Journal of Advanced Researching Technical Science*. 2019. N14-2. 200-204 (In Russian). DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-200-204. EDN: BRRELI.
4. Abediasl H., Ansari A., Hosseini V., et al. Real-time vehicular fuel consumption estimation using machine learning and on-board diagnostics data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2023 (In English). DOI: 10.1177/09544070231185609.
5. Qiu Z., Shi G., Zhao B., et al. Combine harvester remote monitoring system based on multi-source information fusion. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 194. 106771 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2022.106771.
6. Kataev Yu.V. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv s ispol'zovaniem tsifrovyykh tekhnologiy [Diagnosing the technical condition of mobile power equipment using digital technologies]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2023. N1. 21-28 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-21-28.
7. Toropov E.I., Trusov Yu.P., Vashurin A.S., Moshkov P.S. Otsenka tochnosti izmereniya raskhoda topliva na osnove dannykh iz bortovoy can-shiny [Estimation of the accuracy of fuel consumption measurement based on data from the on-board can-bus]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*. 2021. N12(297). 32-38 (In Russian). DOI: 10.14489/hb.2021.12.pp.032-038. EDN: ZNGHGX.
8. Devyanin S.N., Shchukina V.N. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya dvigatelya po raskhodu topliva v rezhime kholostogo khoda [Evaluation of the technical state of an engine based on the fuel consumption when idling]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N1. 34-38 (In Russian). EDN: YZCLFB.

9. Bizhaev A.V., Simeon A.A. Primenenie pal'movogo masla v kachestve prisadki k toplivu traktornykh dizel'nykh dvigateley [Palm oil use as additive to fuel for tractor diesels]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N6. 41-46 (In Russian). EDN: YLSVMV.
10. Nazarov N.N., Nekrasova I.V. Otsenka i vybor mashinno-traktornykh agregatov pri kul'tivatsii po energeticheskim zatratam [Evaluation and selection of machine-tractor units during cultivation by energy costs]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2022. 52(1). 70-80 (In Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-1-8>.
11. Kataev Yu.V., Tishaninov I.A., Gradov E.A. Beskontaktnaya diagnostika dvigatelya traktora cherez can-interfeys [Contactless diagnostics of the tractor engine via the can-interface]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2023. N8. 36-39 (In Russian). EDN: SZBRRI.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Девянин С.Н. – разработка методики исследования, анализ полученных в результате экспериментов данных;
 Бижаев А.В. – научное руководство, обработка полученных экспериментов данных;
 Павлов Я.Д. – проведение экспериментов для снятия характеристик с трактора АТМ 4200;
 Ветрова С.М. – формирование характеристик по результатам эксперимента, редактирование графической части;
 Барчукова А.С. – изучение состояния вопроса, анализ литературы.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Devyanin S.N. – development of research methodology, analysis of experimental data;
 Bizhaev A.V. – scientific guidance, processing of experimental data;
 Pavlov Ya.D. – conducting experiments to remove characteristics from the АТМ 4200 tractor;
 Vetrova S.M. – formation of characteristics based on the results of the experiment, editing of the graphic part;
 Barchukova A.S. – studying the state of the issue, analyzing the literature.

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

03.10.2023
 20.11.2023