



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТИФРИКЦИОННОЙ ПРИСАДКИ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, МОЩНОСТНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ЛАГУЗИН АЛЕКСЕЙ БОРИСОВИЧ¹

E-mail: a.laguzin@autorc.ru

ГАЙДАР СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ, д-р техн. наук, профессор²

E-mail: avtokon93@yandex.ru

ПЫДРИН АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук²

E-mail: pydrin89@mail.ru

НАДЖИ НАДЖМ АБДУЛЗАХРА ФАРХУД²

E-mail: njem.abd12@yahoo.com

ЕМЕЛЬЯНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ²

E-mail: longiniy@inbox.ru

¹Центральный орден Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт; 125438, Российская Федерация, г. Москва, ул. Автомоторная, 2

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Для определения эффективности и целесообразности применения антифрикционной присадки проведены сравнительные испытания двигателя внутреннего сгорания ВАЗ-11194 № 000094 экологического класса 5, установленного на испытательном стенде, без добавления и с добавлением антифрикционной присадки в масло Лукойл Genesis 5W-30. Исследования проводились согласно ГОСТ 14846 «Двигатели автомобильные, методы стендовых испытаний», правилу ООН № 49 (выбросы оксида углерода, углеводородов, оксидов азота с отработавшими газами) и правилу ООН № 85 (мощностные показатели). В ходе испытаний оценивались выбросы вредных веществ с отработавшими газами (СО, СН, NO_x), мощностные показатели двигателя и расход топлива. Испытания проводились согласно представленной методике после наработки 5, 50 и 100 ч работы двигателя. Результаты испытаний показали, что после 100-часовой наработки двигателя с добавлением в моторное масло антифрикционной присадки зафиксирован прирост мощности на 4,1%, крутящего момента двигателя – на 3,5...4,0% при уменьшении удельного расхода топлива на 6...7%. За период испытаний уменьшилась концентрация вредных веществ в отработавших газах двигателя: СО – до 21,6%, СН – до 18,3%, NO_x – до 27,6%. Сформулировано заключение об эффективности влияния антифрикционной присадки на экологические, экономические и мощностные показатели ДВС.

Ключевые слова: антифрикционная присадка, моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, испытания, выбросы вредных веществ, отработавшие газы (ОГ), экология, мощность, крутящий момент, расход топлива.

Формат цитирования: Лагузин А.Б., Гайдар С.М., Пыдрин А.В., Наджи Наджм А.Ф., Емельянов А.А. Оценка влияния антифрикционной присадки на экономические, мощностные и экологические показатели двигателей внутреннего сгорания // *Агроинженерия*. 2020. № 6(100). С. 50-58. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-50-58.

ASSESSING THE EFFECT OF ANTIFRICTION ADDITIVE ON ECONOMIC, POWER AND ENVIRONMENTAL INDICATORS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

ALEKSEI B. LAGUZIN¹

E-mail: a.laguzin@autorc.ru

SERGEI M. GAIDAR, DSc (Eng), Professor²

E-mail: avtokon93@yandex.ru

ALEKSANDR V. PYDRIN, PhD (Eng)²

E-mail: pydrin89@mail.ru

NAJI NAJM ABDULZAHRA FARHOOD²

E-mail: njem.abd12@yahoo.com

ALEKSANDR A. EMELYANOV²

E-mail: longiniy@inbox.ru

¹ State Research Center of the Russian Federation – Central Order of the Red Banner of Labor Research Automobile and Automotive Institute; 125438, Russian Federation, Moscow, Avtomotornaya Str., 2² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

To determine effectiveness and feasibility of using an antifriction additive, the authors carried out comparative bench tests of an internal combustion engine VAZ-11194 No. 000094 of environmental class 5, with and without using an antifriction additive to Lukoil Genesis 5W-30 oil. The studies were carried out in accordance with GOST 14846 “Automotive Engines, Bench Test Methods”, UN Regulation No. 49 (emissions of carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides with exhaust gases) and UN Regulation No.85 (performance indicators). During the tests, harmful substances with exhaust gases (CO, CH, NO_x) emissions, engine power indicators and fuel consumption were evaluated. The tests were carried out according to presented method after 5, 50 and 100 hours of engine operation. The test results recorded an increase in power by 4.1%, in engine torque by 3.5...4.0% with a decrease in specific fuel consumption by 6...7% after 100 hours of engine operation with the use of an antifriction additive in engine oil. During the test period, harmful substances concentration in engine exhaust gases decreased: CO to 21.6%, CH to 18.3%, and NO_x to 27.6%. A conclusion has been formulated on the effectiveness of using antifriction additives in terms of improving environmental, economic and power indicators of an internal combustion engine.

Key words: antifriction additive, engine oil, internal combustion engine, testing, harmful substances emissions, exhaust gases (EG), ecology, power, torque, fuel consumption.

For citation: Laguzin A.B., Gaidar S.M., Pydrin A.V., Naji Najm A.F., Emelyanov A.A. Assessing the effect of antifriction additive on economic, power and environmental indicators of internal combustion engines // Agricultural Engineering, 2020; 6 (100): 50-58. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-50-58.

Введение. Все современные моторные масла состоят из базовых масел и улучшающих их свойства присадок. Действие антифрикционных присадок направлено на увеличение ресурса двигателя, снижение шума и выбросов вредных веществ с отработавшими газами, улучшение смазочных свойств трущихся поверхностей и улучшение плавности работы двигателя, уменьшение температуры в зонах трения, снижение утечек масла и расхода топлива.

Наряду с развитием технологии производства и повышения качества моторных масел производители присадок также разрабатывают и регулярно поставляют на рынок присадки новых поколений.

Опыт эксплуатации показал, что 80...90% деталей машин выходят из строя по причине износа. Известно, что правильно выбрав смазку и присадки к ней, можно значительно повысить износостойкость и долговечность узлов трения при эксплуатации.

Износ деталей машин в основном происходит в режиме граничного трения. Этот режим характеризуется трибологическим поведением системы, определяемым межфазными физико-химическими процессами и близким расположением трущихся поверхностей, приводящим к непосредственному контакту неровностей.

Повышенный износ деталей в сопряжениях нарушает в одних случаях герметичность рабочего пространства машины (например, камера сгорания цилиндра ДВС), в других – нормальный режим смазки или приводит к потере кинематической точности механизма. В результате изнашивания снижается мощность двигателей, увеличивается расход топливосмазочных материалов, увеличивается количество выбросов вредных веществ, снижаются тяговые показатели машин и т.д.

В режиме граничного трения в местах контакта поверхности разделены пленкой смазки в одну или две

молекулы. Трение в этих местах относительно велико ($\mu = 0,05...0,1$), что приводит к ощутимому износу.

Основной задачей граничной пленки является ограничение или, если это возможно, исключение металлического контакта между поверхностями. Именно по этой причине длинноцепные органические молекулы хорошо приспособлены для граничной смазки [1, 2].

Молекулы длинноцепных органических веществ адсорбируются на поверхностях пар трения и образуют квазикристаллическую структуру поверхностной пленки [3-6].

В работе в качестве присадки была использована перфторкарбоновая кислота, в молекуле которой атомы водорода заменены на фтор. Атомы фтора образуют вокруг углеродной цепи более плотную и одновременно более объемную оболочку, чем атомы водорода. Высокая энергия связи C-F, а также защитный «экранный» из атомов фтора, «изолирующий» углеродистую цепь от внешних химических воздействий, определяют высокую термодинамическую и химическую стойкость.

Перфторкарбоновая кислота является своеобразным модификатором контактирующих поверхностей и образует на них мономолекулярную пленку, которая предохраняет зону контакта от износа и уменьшает коэффициент трения на 30...40% [7-10].

Цель исследования: оценка влияния антифрикционной присадки на экологические, экономические и мощностные показатели двигателей.

Материал и методы. В исследованиях применялось моторное масло Лукойл Genesis 5W-30 производства ООО «ЛЛК-Интернешнл» на двигателе VA3-11194 № 000094 в комплектации «ЕВРО-5», установленном на испытательный стенде (рис. 1). Двигатель подготовлен к испытаниям АО «АВТОВАЗ» (Протокол паспортизации № П469-2010-11194-Д10 от 02.07.2010 г.). Основные

показатели двигателя соответствуют требованиям назначенного вида испытаний.

Технические характеристики двигателя ВАЗ-11194:

Число и расположение цилиндров	4-рядное
Рабочий объем, см ³	1390
Диаметр цилиндра, мм	76,5
Ход поршня, мм	75,6
Число клапанов на цилиндр	4
Номинальная мощность, кВт	67,8
Максимальный крутящий момент, Н·м	130,9



Рис. 1. Двигатель ВАЗ-11194 на моторном стенде

Fig. 1. The VAZ-11194 engine on the test bench

Методика исследований. Исследования проводились согласно ГОСТ 14846 «Двигатели автомобильные, методы стендовых испытаний», правилу ООН № 49 (выбросы оксида углерода, углеводородов, оксидов азота с отработавшими газами) и правилу ООН № 85 (мощностные показатели). Условия в лаборатории, тепловой режим

работы двигателя поддерживались в соответствии с требованиями вышеперечисленных нормативных документов и инструкции по эксплуатации двигателя.

Испытания проводились на товарном бензине АИ-95-К5.

При испытаниях двигателя на моторном стенде определялись и контролировались следующие параметры: частота вращения n ; крутящий момент M_k ; часовой расход топлива, G_p ; положение дроссельной заслонки; противодавление на выпуске, $P_{вып}$; давление картерных газов, $P_{к.г}$; давление в системе охлаждения, P_{cool} ; давление топлива, P_f ; температура воздуха на впуске, t_a ; температура охлаждающей жидкости, t_{cool} ; температура моторного масла, t_M ; влажность воздуха на впуске, Ra ; барометрическое давление, p_a ; угол опережения зажигания; концентрации вредных веществ в отработавших газах (CO , CH , NO_x); суммарный расход топлива за цикл испытаний, $G_{цикл}$.

Испытания проводились в режимах, представленных в таблице 1.

Перед испытаниями двигатель заправляли новым маслом. Каждые 10-12 ч уровень масла контролировался, и при необходимости его доливали.

Порядок проведения испытаний состоял из перечисленных ниже этапов.

Этап 1. Испытания двигателя без антифрикционной присадки:

- подготовка двигателя к испытаниям (установка двигателя на стенде, заправка новым маслом);
- наработка двигателя в объеме 10 циклов, когда один цикл включает в себя восемь режимов (табл. 1), и определение внешней скоростной характеристики (рис. 4).

Этап 2. Замена масла на новое, добавление антифрикционной присадки:

- наработка двигателя в объеме 48 циклов (50 ч) и определение внешней скоростной характеристики (рис. 4).

Этап 3. Нарботка двигателя в объеме 96 циклов (100 ч) и определение внешней скоростной характеристики (рис. 4).

Таблица 1

Режимы испытания двигателя

Table 1

Engine test modes

Режим Mode	Время на режиме, мин Time of mode operation, min	Частота вращения коленчатого вала n_p , 1/мин Crankshaft speed n_p , 1/min	Крутящий момент M_k , Н·м Torque M_k , N·m
1	4	750 – холостой ход 750 – Idling	0
2	11	2800	60
3	11	4200	90
4	4	5000	Max
5	4	750 – холостой ход 750 – Idling	0
6	11	5000	90
7	11	3800	Max
8	4	750 – холостой ход 750 – Idling	0
Итого 60 мин / Total 60 minutes			

Текущая оценка результатов испытаний осуществлялась после завершения каждого цикла испытаний путём сравнения текущих оценочных показателей и показателей на режиме 3.

Оценка влияния проводилась по величине и характеру изменений оценочных параметров за весь период испытаний.

На режимах 2, 3, 6 производилось измерение средних значений концентрации оксида углерода (CO), углеводородов (CH) и оксидов азота (NO_x) в отработавших газах (ОГ) до и после нейтрализатора, приведённых к нормальным условиям по влажности атмосферного воздуха по формулам:

$$c_{\text{wet}} = k_{\text{wet}} \cdot c_{\text{dry}};$$

$$k_{i.} = \left(\frac{1}{1 + 0,005(CO + CO_2)} - k \right) \cdot 1,008;$$

$$k_w = \frac{1,608 \cdot H_a}{1 + (1,608 \cdot H_a)}; H_a = \frac{6,220 \cdot R_a \cdot p_a}{p_b - R_a \cdot 10^{-2}},$$

где $p_a = 0,61038 \cdot 10^{241,9+t_a}$; H_a – влажность воздуха на впуске, г воды на кг сухого воздуха; R_a – относительная влажность воздуха, %; p_a – давление водяных паров после охлаждающей ванны, кПа; p_b – общее барометрическое давление, кПа; t_a – температура воздуха, °С.

Поскольку выбросы NO_x зависят от внешних атмосферных условий, концентрация NO_x должна быть скорректирована по температуре и влажности окружающего воздуха с использованием коэффициентов, действительных в диапазоне значений от 0 до 25 г/кг сухого воздуха:

$$c_{NOx} = k_{H,D} \cdot C_{NOxwet}$$

Для двигателей с искровым зажиганием

$$c_{NOx} = k_{H,G} \cdot C_{NOxwet};$$

$$k_{H,G} = 0,6272 + 44,030 \cdot 10^{-3} \cdot Ha - 0,862 \cdot 10^{-3} \cdot Ha^2.$$

Для каждого газа (CO, CH, NO_x) с учетом его концентрации рассчитывается показатель эффективности нейтрализатора:

$$K = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100\%,$$

где $C_{\text{вх}}$ – концентрация компонента отработавших газов на входе в нейтрализатор, млн⁻¹ (или %); $C_{\text{вых}}$ – концентрация того же компонента на выходе из нейтрализатора, млн⁻¹ (или %).

На всех режимах цикла осуществляется регистрация значений параметров:

- времени работы, с;
- частоты вращения n_i , мин⁻¹;
- крутящего момента M_i , Н·м;
- температуры охлаждающей жидкости t , °С.

По окончании цикла производилось измерение расхода топлива G_T , кг.

Суммарная работа, произведенная за цикл, рассчитывалась по следующим формулам.

Мощность $P(m)$, измеряемая на испытательном стенде:

$$P_i(m) = \frac{M_i \cdot n_i}{9550},$$

где n_i – частота вращения двигателя на i -том режиме цикла, мин⁻¹; M_i – крутящий момент двигателя на i -том режиме цикла, Н·м.

Фактическая работа за цикл ($Wact$, кВт·ч):

$$Wact = \int_0^t P_i(m) \cdot dt = \sum_{i=1}^{i=n} P_i(m) \cdot \frac{1}{f},$$

где f – частота измерения при регистрации параметров.

Фактическая работа за цикл $Wact$ рассчитывалась с использованием всех записанных пар значений частоты вращения и крутящего момента, полученных при испытании двигателя.

При интегрировании фактической работы за цикл любые отрицательные значения крутящего момента приравняются к нулю и не учитываются. Если интегрирование производится с частотой менее 5 Гц и если в течение данного отрезка времени значение крутящего момента изменяется с положительного на отрицательное или с отрицательного на положительное, то отрицательная часть при вычислениях приравняется к нулю. Положительная часть учитывается в интегрированном значении.

Средний эффективный расход топлива за цикл рассчитывается по формуле:

$$g_{\text{цикл}} = \frac{G_T}{Wact}.$$

Через каждые 6 циклов по результатам измерений рассчитывались статистические показатели двигателя. В качестве статистических показателей принимались следующие параметры:

– среднее значение эффективного расхода топлива за шесть циклов

$$\bar{g}_{\text{цикл}} = \frac{\sum_{i=1}^8 g_{\text{цикл}}}{6};$$

– среднее значение концентраций оксида углерода (CO), углеводородов (CH) и оксидов азота (NO_x) в ОГ за шесть циклов;

– среднеквадратичные отклонения статистических показателей двигателей, рассчитываемые по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2}{k-1}},$$

где k – число циклов; x_i – значение оценочного параметра, измеренное в цикле; \bar{x} – среднее значение оценочного параметра.

Результаты и обсуждение. Испытания двигателя ВАЗ-11194 на моторном масле Лукойл Genesis 5W-30 производства ООО «ЛЛК-Интернешнл» с добавлением антифрикционной присадки после наработки 5, 50, 100 ч приведены в таблицах 2-6 и на рисунках 2, 3.

Изменение показателей двигателя при работе с полностью открытым дросселем на внешней скоростной характеристике в течение 100-часовых испытаний

Table 2

Changes in engine performance when operating with a fully open throttle at an external speed characteristic during 100-hour tests

Период испытаний <i>Test period</i>	Приведенный крутящий момент M_k , Н·м (4500 мин ⁻¹) <i>Reduced torque M_k, N·m (4500 min⁻¹)</i>	Приведённая мощность N_e , кВт (5000 мин ⁻¹) <i>Reduced power N_e, kW (5000 min⁻¹)</i>	Расход топлива G_T , кг/ч <i>Fuel consumption G_T, kg/h</i>	Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч <i>Specific fuel consumption g_e, g/kW·h</i>
До испытаний присадки <i>Before testing the additive</i>	121,7	62,9	20,4	324,4
После 5 ч / <i>After 5 h</i>	124,8	64,8	19,58	302
После 50 ч / <i>After 50 h</i>	126,7	64,5	19,62	304,1
После 100 ч / <i>After 100 h</i>	124,7	64,4	19,82	307,7

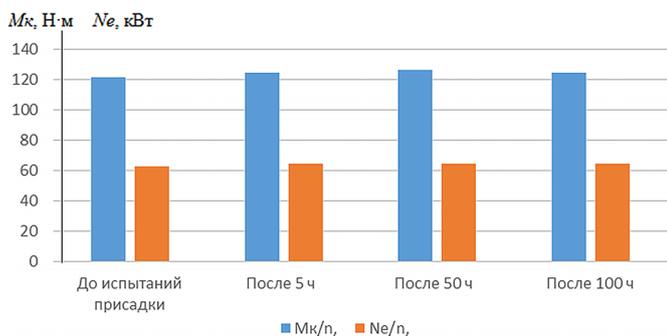


Рис. 2. Изменение мощности и крутящего момента двигателя

Fig. 2. Change in engine power and torque

Контрольные испытания, проведенные сразу после обкатки до начала основных испытаний, подтвердили соответствие двигателя ВАЗ-11194 № 000094 в комплектации ЕВРО-5 требованиям технических условий и показали, что двигатель имеет:

- мощность 62,9 кВт при 5000 мин⁻¹;
- максимальный крутящий момент 121,7 Н·м при 4500 мин⁻¹;
- минимальный удельный расход топлива в точке максимальной мощности – 324,4 г/кВт·ч.

Основные испытания двигателя после наработки 5, 50 и 100 ч работы по циклу, утверждённому в техническом задании, показывают прирост мощности и крутящего момента двигателя приблизительно на 3,5...4,0% при уменьшении удельного расхода топлива на 6...7%.

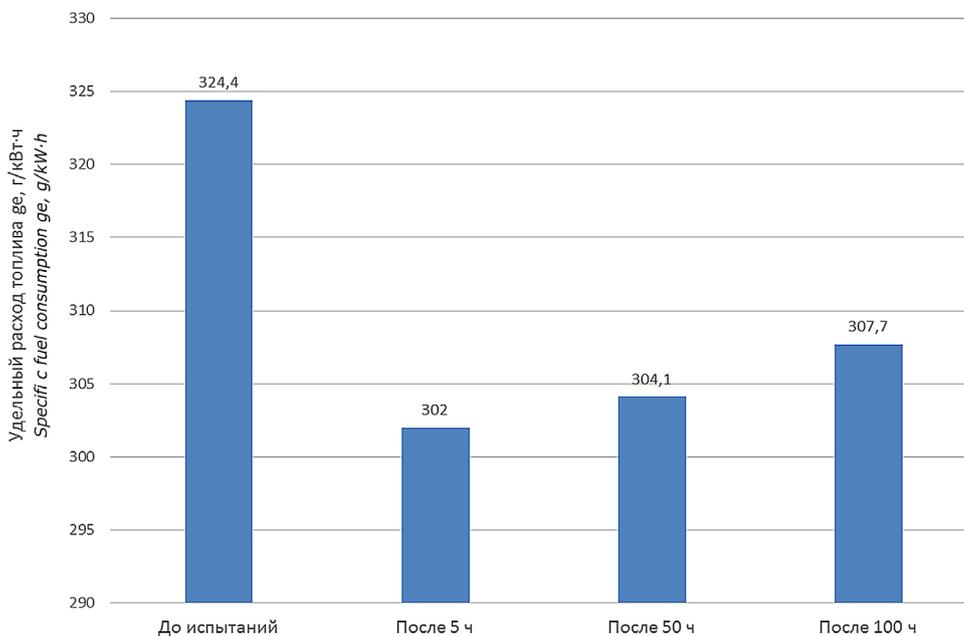


Рис. 3. Изменение удельного расхода топлива

Fig. 3. Change in specific fuel consumption

Удельный расход топлива (g_e) увеличился в среднем на 1% за каждые 50-часовые испытания и после 100 ч составил 5,15%.

Крутящий момент (M_k) на режимах 4 и 7 после 5 ч испытаний возрос в среднем на 3%, после 50 и 100 ч начал постепенно снижаться – примерно на 0,5% за каждые 50 ч.

Мощность двигателя (N_e) на режимах 4 и 7 после 5 ч испытаний выросла в среднем на 4...5%, после 50 и 100 ч постепенно снижалась примерно на 0,5% за каждые 50 ч.

Эффективность нейтрализатора по всем компонентам практически не изменилась.

Выбросы вредных веществ в отработавших газах двигателя за период испытаний изменились: CO – до 21,6%, CH – до 18,3%, NO_x – до 27,6% (разница значений после 5 ч и 100 ч испытаний сопоставима с погрешностью измерения в пределах 1%).

Таблица 3

Изменение показателей двигателя при испытаниях на 4 и 7 режимах цикла

Table 3

Change in engine performance during tests in cycle modes 4 and 7

Показатель Index	До испытаний присадки Before testing the additive	Период испытаний Test period		
		после 5 ч after 5 h	после 50 ч after 50 h	после 100 ч after 100 h
Удельный расход топлива за цикл, г/кВт·ч Specific fuel consumption per cycle, g/kW·h	295,5±1,8	291,8±1,8	290,8±1,8	293,3±1,8
Крутящий момент двигателя, Н·м: Engine torque, N·m: – на 4 режиме (5000 мин ⁻¹) / in mode 4 (5000 min ⁻¹) – на 7 режиме (3800 мин ⁻¹) / in mode 7 (3800 min ⁻¹)	122,6±1,2 121,0±0,9	126,7±1,2 124,3±0,9	126,6±1,2 123,4±0,9	125,2±1,2 122,4±0,9
Мощность двигателя, кВт: Engine power, kW: – на 4 режиме (5000 мин ⁻¹) / in mode 4 (5000 min ⁻¹) – на 7 режиме (3800 мин ⁻¹) / in mode 7 (3800 min ⁻¹)	63,8±0,73 50,70±0,46	66,70±0,42 53,72±0,55	66,07±0,35 52,84±0,44	65,14±0,32 52,48±0,30

Таблица 4

Содержание CO, CH и NO_x в отработавших газах после нейтрализатора на 2-м режиме цикла ($n = 2800 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 60 \text{ Нм}$)

Table 4

The content of CO, CH and NO_x in the exhaust gases after the use of neutralizer in cycle mode 2 ($n = 2800 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 60 \text{ Nm}$)

Газ Gas	До испытаний присадки Before testing the additive	Период испытаний Test period		
		после 5 ч after 5 h	после 50 ч after 50 h	после 100 ч after 100 h
CO, %	0,125±0,015	0,098±0,015	0,144±0,015	0,125±0,015
CH, млн ⁻¹ / ppm	104±10,0	85±10,0	86±10,0	82±10,0
NO_x , млн ⁻¹ / ppm	145±15,0	110±15,0	105±15	108±15

Таблица 5

Содержание CO, CH, NO_x в отработавших газах после нейтрализатора на 3-м режиме цикла ($n = 4200 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 90 \text{ Нм}$)

Table 5

The content of CO, CH and NO_x in the exhaust gases after the use of neutralizer in cycle mode 3 ($n = 4200 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 90 \text{ Nm}$)

Газ Gas	До испытаний присадки Before testing the additive	Период испытаний Test period		
		после 5 ч after 5 h	после 50 ч after 50 h	после 100 ч after 100 h
CO, %	0,725±0,120	0,625±0,120	0,710±0,120	0,690±0,120
CH, млн ⁻¹ / ppm	140±25	134±25	174±25	161±25
NO_x , млн ⁻¹ / ppm	309±25	293±25	3±305	340±25

Содержание CO, CH, NO_x в отработавших газах после нейтрализатора на 6-м режиме цикла ($n = 5000 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 90 \text{ Нм}$)

Table 6

The content of CO, CH and NO_x in the exhaust gases after the use of neutralizer in cycle mode 6 ($n = 5000 \text{ мин}^{-1}$, $M_k = 90 \text{ Нм}$)

Газ Gas	До испытаний присадки Before testing the additive	Период испытаний Test period		
		после 5 ч after 5 h	после 50 ч after 50 h	после 100 ч after 100 h
CO, %	0,625±0,120	0,605±0,120	0,680±0,120	0,615±0,120
CH, млн ⁻¹ / ppm	421±30,0	410±30,0	330±30,0	415±30,0
NO _x , млн ⁻¹ / ppm	287±15,0	220±15,0	231±15,0	246±15,0

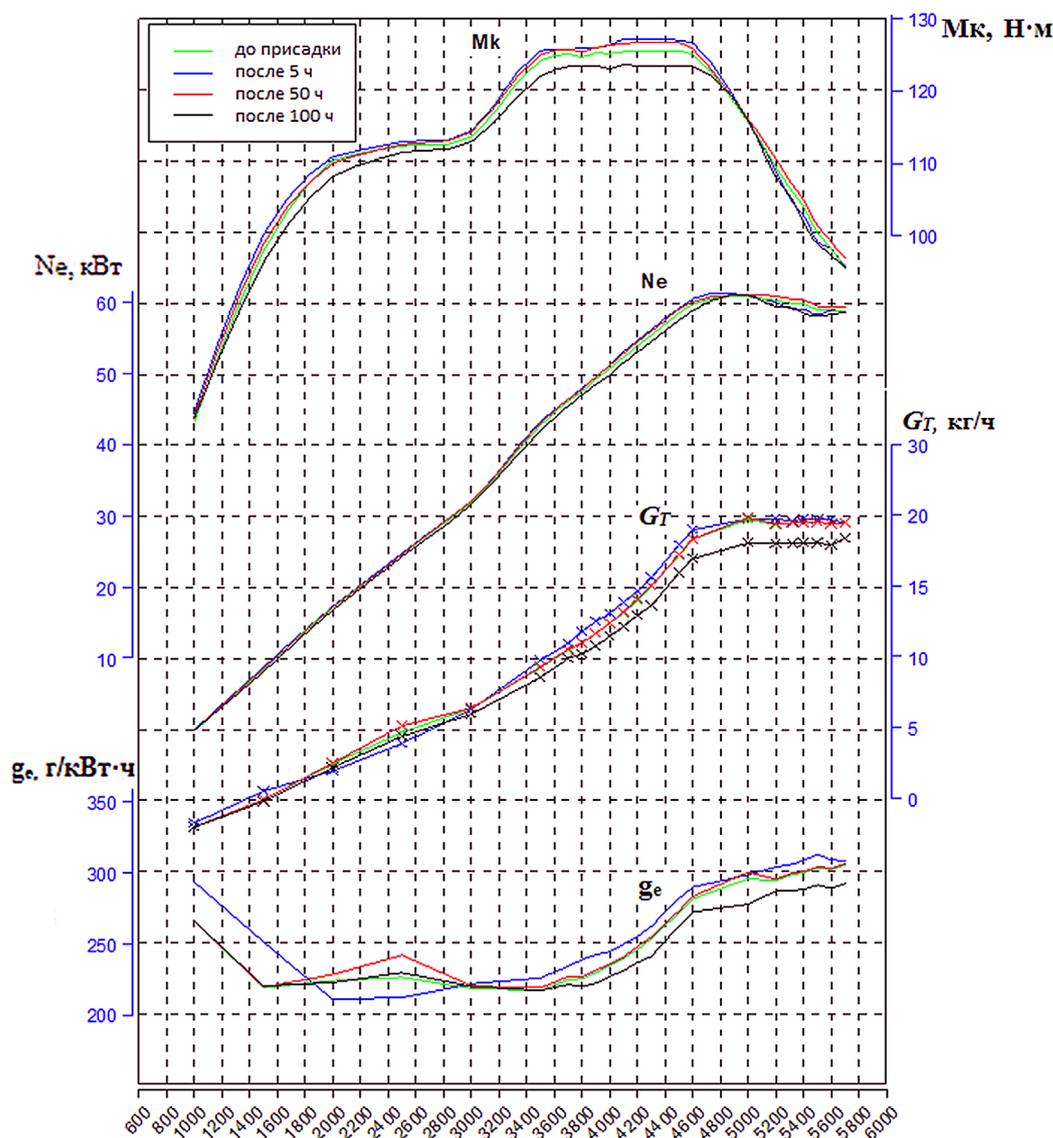


Рис. 4. Внешняя скоростная характеристика двигателя:

M_k – крутящий момент, Н·м; N_e – мощность, кВт; G_T – часовой расход топлива, кг/ч; g_e – удельный расход топлива, г/кВт·ч

Fig. 4. External speed characteristic of the engine:

M_k – torque, N·m; N_e – power, kW; G_T – hourly fuel consumption, kg/h; g_e – specific fuel consumption, g/kW·h

Выводы

1. В период испытаний двигатель работал устойчиво, его параметры оставались стабильными на протяжении практически всего периода испытаний. Перебоев и отказов в работе двигателя не наблюдалось, по окончании испытаний дефектов (задилов, натиров, следов изнашивания и т.п.) на деталях двигателя не обнаружено.

Библиографический список

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел: Пер. с англ. / Под ред. д-ра техн. наук И.В. Крагельского. М.: Машиностроение, 1968. 543 с.
2. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. М.: Физматгиз, 1963. 472 с.
3. Гайдар С.М. Характеристика и показатели наноматериалов для снижения износа деталей сельхозмашин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2009. № 12. С. 20-22.
4. Гайдар С.М., Быкова Е.В., Карелина М.Ю. Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностноактивными веществами, для защиты сельхозтехники // *Техника и оборудование для села*. 2015. № 7. С. 34-38.
5. Гайдар С.М. Этаноламиды карбоновых кислот как полифункциональные ингибиторы окисления углеводородов // *Химия и технология топлив и масел*. 2010. № 6 (562). С. 16-20.
6. Гайдар С.М., Карелина М.Ю. Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин // *Техника и оборудование для села*. 2015. № 3. С. 26-28.
7. Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Технология повышения износостойкости поверхностей трибосопряжений физико-химическим методом // *Грузовик*. 2015. № 3. С. 12-16.
8. Гайдар С.М., Свечников В.Н., Усманов А.Ю. и др. Использование наноматериалов в качестве присадок к маслам для уменьшения трения в трибосопряжениях // *Техника и оборудование для села*. 2013. № 1. С. 35-37.
9. Гайдар С.М., Карелина М.Ю. Адсорбция фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // *Тезисы докладов Пятой Международной конференции «От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии»*. 2015. С. 44-45.
10. Гайдар С.М., Быкова Е.В. Применение наномодификатора в качестве эмульгирующей добавки для органо-разбавляемых лакокрасочных материалов // *Техника и оборудование для села*. 2016. № 4. С. 39-40.

2. После наработки 100 ч работы двигателя с добавлением в моторное масло антифрикционной присадки согласно методике зафиксировано изменение в виде прироста мощности и крутящего момента двигателя на 3,5...4,0% при уменьшении удельного расхода топлива на 6...7%.

3. За период испытаний уменьшились выбросы вредных веществ в отработавших газах двигателя: CO – до 21,6%, CH – до 18,3%, NO_x – до 27,6%. Эффективность нейтрализатора по компонентам практически не изменилась.

References

1. Bowden F.P., Tabor D. *Trenie i smazka tverdykh tel [Friction and lubrication of solid bodies]*. Translated from English. Ed. by DSc (Eng) I.V. Kragelsky. Moscow, Mashinostroenie, 1968: 543. (In Rus.)
2. Akhmatov A.S. *Molekulyarnaya fizika granichnogo treniya [Molecular physics of boundary friction]*. Moscow, Fizmatgiz, 1963: 472. (In Rus.)
3. Gaidar S.M. *Kharakteristika i pokazateli nanomaterialov dlya snizheniya iznosa detaley sel'khoz mashin [Characteristics and indicators of nanomaterials to reduce the wear of agricultural machinery parts]*. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2009; 12: 20-22. (In Rus.)
4. Gaidar S.M., Bykova E.V., Karelina M.Yu. *Perspektivy ispol'zovaniya lakokrasochnykh materialov, modifitsirovannykh ftorsoderzhashchimi poverkhnostnoaktivnyimi veshchestvami dlya zashchity sel'khoztekhniki [Prospects of using paints and varnishes modified with fluorine-containing surfactants for agricultural machinery protection]*. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2015; 7: 34-38. (In Rus.)
5. Gaidar S.M. *Etanolamidy karbonovykh kislot kak polifunksional'ne ingibitory okisleniya uglevodородov [Carboxylic acids ethanolamides as polyfunctional inhibitors of hydrocarbon oxidation]*. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*, 2010; 6 (562): 16-20. (In Rus.)
6. Gaidar S.M., Karelina M.Yu. *Innovatsionnoe tekhnicheskoe sredstvo dlya naneseniya zashchitnoy molekulyarnoy plenki na poverkhnost' mashin [Innovative technical means for applying a protective molecular film to machines surface]*. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2015; 3: 26-28. (In Rus.)
7. Karelina M.Yu., Gaidar S.M. *Tekhnologiya povysheniya iznosostoykosti poverkhnostey tribosopryazheniy fiziko-khimicheskim metodom [Technology of increasing wear resistance of tribo-coupling surfaces by a physical-and-chemical method]*. *Gruzovik*, 2015; 3: 12-16. (In Rus.)
8. Gaidar S.M., Svechnikov V.N., Usmanov A.Yu. et al. *Ispol'zovanie nanomaterialov v kachestve prisadok k maslam dlya umen'sheniya treniya v tribosopryazheniyakh [Use of nanomaterials as additives to oils to reduce friction in tribo-couplings]*. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2013; 1: 35-37. (In Rus.)
9. Gaidar S.M., Karelina M.Yu. *Adsorbtsiya ftor-PAV i ee vliyanie na smazku tribosopryazheniy v usloviyakh granichnogo i gidrodinamicheskogo treniya [Fluorine-surfactant adsorption and its effect on tribo-couplings lubrication under boundary and hydrodynamic friction conditions]*:

Tezisy докладov Pyatoy Mezhdunarodnoy konferentsii "Ot nanostruktur, nanomaterialov i nanotekhnologii k nanoindustrii", 2015: 44-45. (In Rus.)

10. Gaidar S.M., Bykova E.V. Primenenie nanomodifikatora v kachestve emul'giruyushchey dobavki dlya organorazbavlyaemykh lakokrasochnykh materialov [Nanomodifier application as an emulsifying additive for solvent-borne paints and varnishes]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2016; 4: 39-40. (In Rus.)

Критерии авторства

Лагузин А.Б., Гайдар С.М., Пыдрин А.В., Наджи Наджм А.Ф., Емельянов А.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Лагузин А.Б., Гайдар С.М., Пыдрин А.В., Наджи Наджм А.Ф., Емельянов А.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 20.10.2020 г.

Опубликована 25.12.2020

Contribution

A.B. Laguzin, S.M. Gaidar, A.V. Pydrin, A.F. Naji Najm, A.A. Emelyanov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.B. Laguzin, S.M. Gaidar, A.V. Pydrin, A.F. Naji Najm, A.A. Emelyanov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on October 20, 2020

Published 25.12.2020