

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.113-592.004.58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

В. Г. КОСТЕНИЧ, И. И. БОНДАРЕНКО, В. В. МИХАЛКОВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: kaf.tia@bsatu.by

В. А. БЕЛОУСОВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: ktrauto@tut.by

(Поступила в редакцию 05.01.2022)

В современном тракторостроении вследствие усложнения конструкции силовых агрегатов возрастает роль качества проведения технического обслуживания, влияющего на их надежность и безопасность в эксплуатации. Бортовое диагностирование тракторов позволяет прогнозировать сроки службы их узлов в процессе эксплуатации и техническое состояние без их разборки, т.е. фактически управлять их техническим состоянием. Данная разработка способствует снижению времени простоя тракторов, обеспечивает значительную экономию средств на их обслуживание и ремонт. Выполнение необходимых и обоснованных операций по обслуживанию и ремонту сокращает расход материальных средств на запасные части и топливно-смазочные материалы. Так, своевременное обслуживание и устранение неисправностей в системах питания двигателя, агрегатах трансмиссии или ходовой части на 10–15 % повышает топливно-экономические показатели двигателя, на 20–30 % – экологические показатели, повышает безопасность эксплуатации тракторов.

В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания масло подвергается количественным и качественным изменениям. Количественные изменения происходят при испарении легких фракций масла, его сгорании в цилиндрах двигателя. Качественные изменения обусловлены старением масла и химическими превращениями его компонентов, накоплением в нем продуктов изнашивания и несгоревшего топлива. Уменьшение количества и ухудшения качества масла в современных высокофорсированных двигателях может в итоге привести к их отказу. В статье представлена новая методика и процесс бортового мониторинга степени выработки и определения порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла по комплексному показателю. Представлена структурная схема системы бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла. На основании полученных результатов установлен математически показатель, учитывающий суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска для трактора «Беларус», находящегося в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: трактор, моторное масло, ресурс, пороговое значение, двигатель.

In modern tractor construction, due to the complexity of the design of power units, the role of the quality of maintenance, which affects their reliability and safety in operation, increases. On-board diagnostics of tractors makes it possible to predict the service life of their components during operation and the technical condition without disassembling them, i.e. actually manage their technical condition. This innovation contributes to reducing tractor downtime, provides significant savings in funds for their maintenance and repair. Performing necessary and justified maintenance and repair operations reduces the cost of material resources for spare parts and fuel and lubricants. Thus, timely maintenance and troubleshooting in the engine power systems, transmission units or running gear increases the fuel and economic performance of the engine by 10–15 %, environmental performance by 20–30 %, and increases the safety of tractor operation.

During the operation of internal combustion engines, the oil undergoes quantitative and qualitative changes. Quantitative changes occur during the evaporation of light oil fractions, its combustion in the engine cylinders. Qualitative changes are due to the aging of the oil and the chemical transformations of its components, the accumulation of wear products and unburned fuel in it. Reducing the amount and deterioration of oil in modern high-powered engines can eventually lead to their failure. The article presents a new methodology and process for on-board monitoring of the degree of depletion and determination of the threshold value for the ultimate depletion of an engine oil resource in terms of a complex indicator. A block diagram of the on-board monitoring system for the degree of engine oil resource depletion is presented. Based on the results obtained, a mathematical indicator was established that takes into account the total amount of fuel consumed in various engine operating modes and the number of start-up cycles for the Belarus tractor in real operating conditions.

Key words: tractor, motor oil, resource, threshold value, engine.

Введение

Были проведены лабораторные и эксплуатационные испытания на тракторе Беларус-925М, который является учебным трактором и принадлежит УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», и на тракторе Беларус-952, находящемся в реальных условиях эксплуатации. Данные испытания подтверждают, что между общим количеством израсходованного двигателем топлива и уровнем загрязнения, при котором он в состоянии продолжать нормальную работу, существует положительное соотношение. Моторное масло имеет ограничение на количество загрязнений, которое оно может поглотить без нарушения своих функций. Соотношение между расходом топлива и загрязнением масла является критерием для выбора интервала замены масла по его фактическому состоянию [1, 2].

Проанализировав инструкции по эксплуатации двигателей ряда тракторов и автомобилей, была выявлена закономерность, что изготовитель обычно устанавливает наработку двигателя трактора в часах или пробега автомобиля в километрах до замены масла. При работе тракторов было установлено, что замена моторного масла в новых двигателях и двигателях, работающих в более благоприятных условиях, происходит преждевременно и представленные образцы моторного масла М14Г₂, слитые из двигателей при плановой его замене, являлись работоспособными. В то же время в некоторых двигателях (чаще из-за неполадок в системах охлаждения и топливоподачи) масло становится неработоспособным до того, как оно должно быть заменено по инструкции [3].

При рассмотрении образцов масла было выявлено ухудшение его качества в связи с накоплением в нем продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено техническим состоянием двигателя. Полученные показатели образцов приводили к снижению вязкости, ухудшению смазывающих способностей, нарушениям режима жидкостного трения.

В продуктах сгорания имеется большое количество коррозионно-активных оксидов. Вследствие этого ускоряется образование продуктов окисления, находящихся в масле как в растворенном, так и во взвешенном состоянии. На изменение свойств масел существенное влияние оказывают также температурный режим и техническое состояние двигателя. Скорость окисления и загрязнения значительно выше при работе масел в изношенных двигателях, когда увеличен прорыв газов в картер и повышена температура двигателей, а также при работе двигателя с перегрузкой или в неустановившемся режиме.

Скорость срабатывания введенных в масло присадок зависит от теплового режима деталей двигателя, его технического состояния, условий эксплуатации, качества используемого топлива. Срабатывание присадок приводит к изменению многих показателей качества масла: снижению щелочного числа, ухудшению моюще-диспергирующих свойств, повышению коррозии т.д.

Согласно результатам, полученным при обработке образцов моторного масла, пришли к выводу, что при работе двигателя в масле происходят значительные изменения: накапливаются продукты превращения углеводородов масла, загрязнения, попавшие с воздухом и топливом, увеличивается количество агрессивных соединений.

Для установления сроков службы масла в двигателях применяют так называемые браковочные показатели, при достижении которых масло следует заменить. Браковочными показателями служат изменение вязкости, температуры вспышки, щелочности, содержание загрязняющих примесей, воды и топлива, значение диспергирующих свойств и др. Но определение браковочных показателей требует специального дорогостоящего лабораторного оборудования.

Целью данной работы является определение порогового значения показателей моторного масла для тракторов семейства «Беларус».

Основная часть

Рассмотрим новый метод бортового мониторинга и определения порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла. Структурная схема системы бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла представлена на рис. 1.

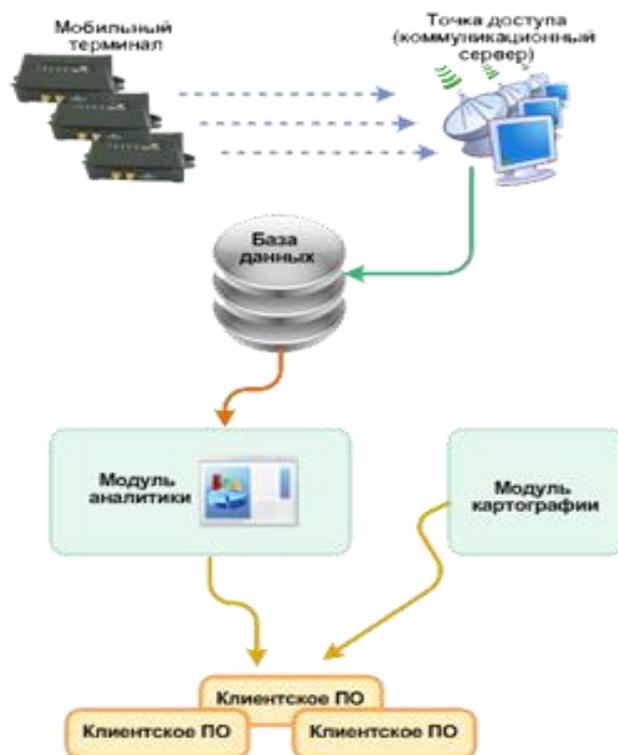


Рис. 1. Структурная схема системы бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла

Данный метод бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла отличается от традиционного, основанного на часах работы двигателя [1, 3].

Были проведены испытания по изменению основных свойств моторного масла по комплексному показателю, учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя Д-245.5S2 и количество циклов его пуска, которые проводились на учебном тракторе Беларус-925М, принадлежащем УО БГАТУ, и на тракторе Беларус-952, который находился в реальных условиях эксплуатации и принадлежал СПК «Радонежское», д. Корчицы, Кобринского района, Брестской области, с установленной на них телематической системой контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата фирмы СП «Технотон». Разработанная схема соединения компонентов телематической системы для проведения исследований приведена на рис. 2.

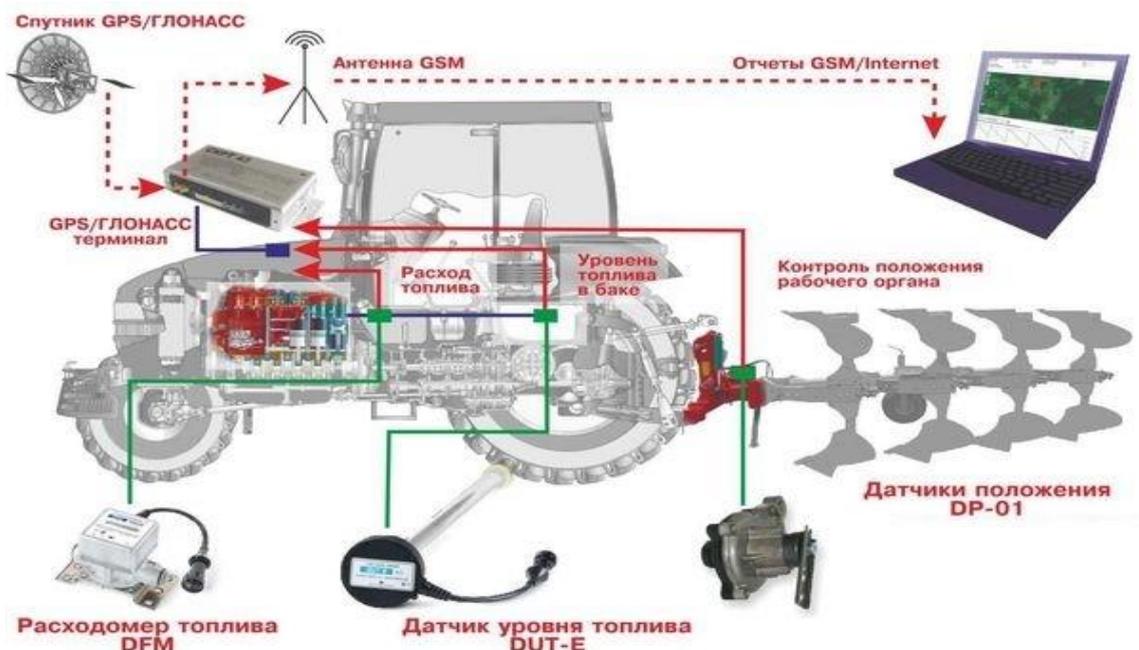


Рис. 2. Схема телематической системы для проведения исследований

При проведении испытаний учитывались регламентные сроки замены моторного масла, прописанные в инструкции по эксплуатации [4], в соответствии с которыми замена масла производится через 250 часов работы двигателя. Проверялась также и гипотеза о зависимости скорости изменения свойств моторного масла не только от времени, но и от режимов работы двигателя и значения щелочного и кислотного чисел свежего масла, залитого в двигатель.

Для проведения лабораторных исследований выполнялся отбор проб моторного масла в объеме 80 мл через каждые 85–90 часов работы трактора. При этом регистрировались параметры времени работы, суммарного расхода топлива и количество циклов «пуск–работа–останов двигателя» на момент забора пробы. Материалы проб для анализа были представлены в ЦЗЛ Химико-технологическая лаборатория ОАО «Минский тракторный завод», где определялось щелочное и кислотное число каждой пробы, темп изменения которых по результатам многих исследований является одним из основных показателей сохранения качественных характеристик и смазывающих свойств моторного масла в процессе эксплуатации. Щелочное и кислотное число каждой пробы масла сравнивались со щелочным и кислотным числом свежего масла, а затем строилась графическая зависимость темпа изменения указанных показателей в процессе проведения исследований.

Данные испытания проводились на тракторах Беларус-925М и Беларус-952 (подконтрольный, находящийся в условиях реальной эксплуатации), оснащенных аналогичными двигателями, и проводились сравнительные анализы результатов. Были получены сводные отчеты по эксплуатации тракторов при выполнении ими различных видов работ и на разных режимах работы двигателя, анализируя которые было выявлено, что трактор Беларус-952 отработал 93 дня (согласно протоколу испытаний). В день в среднем осуществлялось 5 пусков двигателя и, как минимум, первый пуск – пуск не прогретого до +40 °С двигателя.

Таким образом, так как трактор проработал 93 дня и, в среднем, выполнялось 5 пусков двигателя в день, были рассчитаны показатели: общее количество пусков двигателя $m = 93 \cdot 5 = 465$, из них как минимум $m_1 = 93$ – не прогретого до +40 °С, а прогретого свыше +40 °С – $m_2 = 465 - 93 = 372$ пуска (согласно полученным отчетам исследования).

Проведен анализ графиков зависимости часового расхода топлива от температуры и частоты вращения коленчатого вала двигателя колесного трактора за цикл «пуск–прогрев–работа–останов», на основании полученных результатов пришли к выводу, что прогрев двигателя до +40 °С занимает 15 минут, что составляет 0,25 часа. Если принять регламентированный производителем срок замены моторного масла через 250 часов работы двигателя, то это составит $250 : 0,25 = 1000$ пусков двигателя. Следовательно, коэффициент выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя, не прогретого до +40 °С, составит $k_1 = 0,001$.

Объем топлива, израсходованного двигателем за 250 часов его работы (периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом-изготовителем), соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение), рассчитывался по следующей формуле и заносился в память бортового компьютера:

$$V_0 = \frac{Gt}{\rho} = \frac{19,44 \cdot 250}{0,84} = 5785,7 \text{ л}, \quad (1)$$

где G – часовой расход топлива, кг/ч; t – периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом-изготовителем, ч; ρ – плотность дизельного топлива, г/см³.

Часовой расход топлива для двигателя Д-245.5S2, установленного на тракторе Беларус-952, определялся по формуле:

$$G = \frac{g_e N_e}{10^3} = \frac{240 \cdot 81}{1000} = 19,44 \text{ кг/ч}, \quad (2)$$

где g_e – эффективный удельный расход топлива, г/кВт·ч; N_e – номинальная мощность двигателя, кВт.

Объем израсходованного двигателем топлива при полной выработке ресурса моторного масла по новому методу составил 3240 л.

После проведенных испытаний в реальных условиях эксплуатации колесного трактора можно сделать вывод, что оценку степени выработки и величину остаточного ресурса моторного масла в процессе эксплуатации более целесообразно производить не по времени работы, а по комплексному показателю (формула (3)), учитывающему суммарный расход топлива (характеризующий температурные условия и режимы работы контролируемого объекта) и количество циклов пуска двигателя:

$$\Delta = \left(\frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} + m_1 k_1 + m_2 k_2 \right) \cdot 100 \% = \left(\frac{3240}{5785,7} + 93 \cdot 0,001 + 372 \cdot 0,0009 \right) \cdot 100 \% = 100 \% , \quad (3)$$

где V_p – объем израсходованного двигателем топлива при p -м цикле «пуск–работа–останов двигателя», л; $p = 1, 2, \dots, n$; n – количество циклов; V_0 – объем израсходованного двигателем топлива за 250 часов его работы (периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом-изготовителем), соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла (пороговое значение рассчитывается по формуле (1)), л; m_1, m_2 – количество циклов пуска двигателя, не прогретого до $+40$ °С и прогретого свыше $+40$ °С соответственно; k_1, k_2 – коэффициенты выработки ресурса моторного масла при пуске двигателя не прогретого до $+40$ °С и прогретого свыше $+40$ °С соответственно.

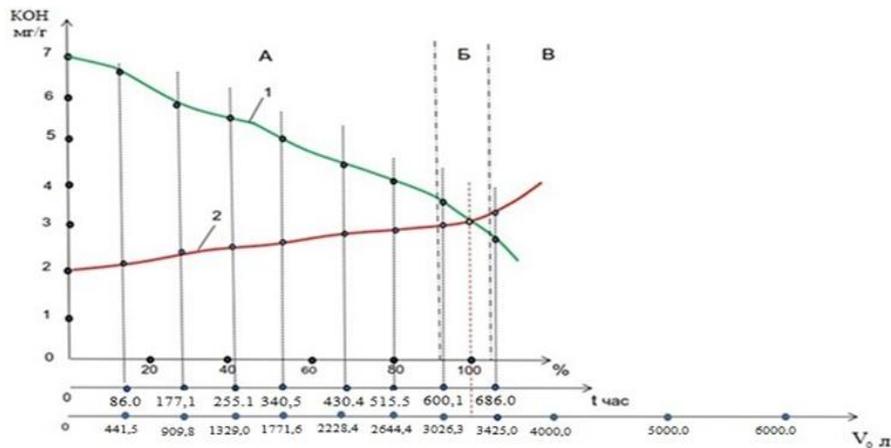


Рис. 3. Результаты изменения показателей работающего моторного масла марки М14Г2:
1 – щелочное число; 2 – кислотное число; А – эффективная работа масла;
Б – диапазон замены масла; В – интенсивное старение масла

Коэффициент выработки ресурса моторного масла $k_2 = 0,0009$ – при пуске двигателя, прогретого свыше $+40$ °С, определен экспериментально.

В процессе проведения исследований определен признак снижения качественных свойств щелочного числа работающего моторного масла после наработки контролируемого объекта трактора Беларус-952 более 600 часов в реальных условиях эксплуатации (рис. 3).

Заключение

Согласно полученным результатам исследований, было определено пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла ($V_0 = 5785,7$ л) колесного трактора Беларус-952, находящегося в реальных условиях эксплуатации. Благодаря этому значению можно прогнозировать выработку ресурса моторного масла, используя при этом комплексный показатель, который учитывает суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко, И. И. Бортовой мониторинг степени выработки ресурса моторного масла колесных и гусеничных машин / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев // Наука и техника. – 2014. – № 4. – С. 10–14.
2. Бондаренко, И. И. Новый метод бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев // Автомобиле- и тракторостроение: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая 2018 г.: в 2 т. / Беларус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 9–11.
3. Бондаренко, И. И. Диэлектрическая проницаемость как показатель степени выработки ресурса моторного масла / И. И. Бондаренко, Ю. Д. Карпиевич, Д. А. Русакевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 32–34.
4. Тракторы. Устройство. Техническое обслуживание. Ремонт. «Беларус» серия 1000-2000: учебное пособие / А. А. Пуховой, И. Н. Шило. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2012 – 779 с.