

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВОГО ЗНАЧЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА МОТОРНОГО МАСЛА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА

И. И. БОНДАРЕНКО

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

(Поступила в редакцию 12.04.2021)

*В условиях рыночных отношений одной из основных задач, стоящих перед промышленностью Республики Беларусь, является повышение технического уровня, надежности и конкурентоспособности выпускаемой техники.*

*В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания масло подвергается количественным и качественным изменениям. Количественные изменения происходят при испарении легких масляных фракций, сгорании масла при насосном действии компрессионных колец. Качественные изменения обусловлены старением масла и химическими превращениями его компонентов, продуктов изнашивания цилиндропоршневой группы и несгоревшего топлива. Уменьшение количества и ухудшения качества работающего масла в условиях высокой интенсивности подобных процессов в современных высокофорсированных двигателях может в итоге привести к их отказу.*

*Развитие техники, новые конструкторские решения в машиностроении, повышение мощности, ужесточение экологических норм и стандартов влекут за собой расширение требований к моторным маслам. Необходимость увеличения интервалов между проведением технического обслуживания предъявляет дополнительные требования к эксплуатационным свойствам моторных масел. Ужесточение экологических стандартов приводит к необходимости выпуска энергосберегающих и биоразлагающихся масел.*

*Разработана новая методика бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла. Представлена структурная схема системы бортового диагностирования степени выработки ресурса моторного масла, которая при определении степени выработки ресурса моторного масла предоставит возможность оперативно, в любой период эксплуатации машин рассчитать остаточный ресурс моторного масла, а также прогнозировать время его замены.*

*В статье рассмотрен процесс определения порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла по комплексному показателю, учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации.*

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

*In the conditions of market relations, one of the main tasks facing the industry of the Republic of Belarus is to improve the technical level, reliability and competitiveness of the manufactured equipment.*

*During the operation of internal combustion engines, the oil undergoes quantitative and qualitative changes. Quantitative changes occur during the evaporation of light oil fractions, oil combustion during the pumping action of the compression rings. Qualitative changes are caused by the aging of the oil and chemical transformations of its components, wear products of the cylinder-piston group and unburned fuel. A decrease in the quantity and deterioration of the quality of operating oil under conditions of high intensity of such processes in modern highly accelerated engines can ultimately lead to their failure.*

*The development of technology, new design solutions in mechanical engineering, an increase in power, tightening of environmental norms and standards entail an expansion of requirements for motor oils. The need to extend maintenance intervals places additional demands on the performance of engine oils. The tightening of environmental standards leads to the need to produce energy-efficient and biodegradable oils.*

*A new method has been developed for on-board monitoring of the degree of depletion of engine oil resource. We have presented a block diagram of the system for on-board diagnostics of the degree of engine oil resource depletion, which will provide an opportunity to quickly, in any period of machine operation, calculate the residual resource of the engine oil, as well as predict the time of its replacement.*

*The article discusses the process of determining the threshold value of maximum depletion of engine oil resource by a complex indicator that takes into account the total volume of fuel consumed at various engine operating modes and the number of cycles of wheeled tractor engine start-ups under real operating conditions.*

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

### Введение

Лабораторные и эксплуатационные испытания подтверждают, что между общим количеством израсходованного двигателем топлива и уровнем загрязнения моторного масла, при котором он в состоянии продолжать нормально работать, существует прямая зависимость. Масло имеет ограничение на количество загрязнений, которое оно может содержать без нарушения своих функций. Соотношение между расходом топлива и загрязнением масла является критерием для выбора интервала замены масла [1, 2].

Обычно изготовитель двигателя в инструкции по эксплуатации устанавливает наработку двигателя в часах или пробег автомобиля до замены масла. При этом изготовители двигателей исходят из средних статистических данных по работоспособности масла в различных условиях эксплуатации и при техническом состоянии двигателя, близком к предельному. При фиксированной наработке до смены масла в новых двигателях и двигателях, работающих в более благоприятных условиях, замена масла происходит преждевременно, масло сливается из двигателя еще вполне работоспособным. В то же время, в некоторых двигателях (чаще из-за неполадок в системах охлаждения и топливopодачи)

масло становится неработоспособным до того, как оно должно быть заменено по инструкции [3].

### **Основная часть**

Основное назначение моторных масел – снижение износа трущихся деталей и уменьшение затрат энергии на преодоление трения. Кроме того, моторные масла выполняют и другие функции: отводят тепло от нагреваемых поверхностей, предохраняют их от коррозии, очищают поверхности деталей от продуктов износа и механических примесей, герметизируют некоторые узлы трения, уменьшают шум при работе двигателя.

Моторное масло способно надежно и длительно выполнять заданные функции только при соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым оно подвергается в двигателе. Взаимное соответствие конструкции двигателя, его форсированности и свойств масла – одно из главных условий достижения высокой эксплуатационной надежности.

При эксплуатации масло подвергается количественным и качественным изменениям. Количественные изменения происходят при испарении легких масляных фракций, сгорании масла (так называемый угар), частичном вытекании через уплотнительные устройства.

Качественные изменения обусловлены старением масла и химическими превращениями его компонентов, попаданием в масло пыли, продуктов изнашивания деталей, воды и несгоревшего топлива. Уменьшение количества и ухудшение качества работающего масла в современных высокофорсированных двигателях может в итоге привести к их отказу.

В картере работающего двигателя образуется сложная смесь исходного масла и продуктов его сгорания, от которых полностью очистить масло фильтрацией не удается, вследствие чего количество углеродистых частиц в нем повышается.

Выделяют две основные группы загрязняющих масло примесей: органические (продукты неполного сгорания топлива, соединения серы и свинца, продукты термического разложения, окисления и полимеризации масла) и неорганические (частицы пыли и продуктов износа деталей, продукты срабатывания зольных присадок в маслах, оставшиеся в двигателе после его изготовления технологические загрязнения). Свежее масло также содержит загрязняющие примеси, поступающие извне при его изготовлении, транспортировке, хранении и заправке.

На интенсивность процесса загрязнения масла, происходящего в работающем двигателе, влияют, прежде всего, вид и свойства топлива, качество моторного масла, тип, конструкция, техническое состояние, режим работы и условия эксплуатации двигателя и многие другие факторы.

Так при снижении полноты сгорания топлива и прорыва газов в картер масло загрязняется, прежде всего, органическими примесями. Образование в масле загрязняющих примесей может замедлиться в результате долива свежего масла, выпадения загрязнений в осадок и удержания их фильтрами.

Качество масел ухудшается из-за накопления в них продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено техническим состоянием двигателя. Это приводит к снижению вязкости, ухудшению смазывающей способности, нарушениям режима жидкого трения. В продуктах сгорания имеется большое количество коррозионно-активных компонентов. Вследствие этого ускоряется образование продуктов окисления, находящихся в масле как в растворенном, так и во взвешенном состоянии.

На изменение свойств масел существенное влияние оказывают 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 двигателя, его технического состояния, условий эксплуатации, качества используемого топлива. Срабатывание присадок приводит к изменению многих показателей качества масла: снижению щелочного числа, ухудшению моющих свойств, повышению коррозионности и т. д.

Сроки службы моторных масел до замены определяются не только пробегом автомобиля или наработкой трактора, но и временем, в течение которого совершена эта работа. При коротких суточных и малом годовом пробеге автомобиля ускоряются коррозионные процессы, ухудшаются защитные свойства, ускоряется старение масла. Поэтому в любом случае необходима замена масла не реже одного раза в год.

Для установления сроков службы масла в двигателях применяют так называемые браковочные показатели, при достижении которых масло следует заменять. 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.

Рассмотрим новый метод бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла. Предлагаемый метод бортового мониторинга выработки ресурса моторного масла отличается от традиционно-го, основанного на часах работы двигателя [5]. Структурная схема системы бортового мониторинга

выработки ресурса моторного масла представлена на рис.1.

Степень выработки ресурса моторного масла определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $V_p$  – объем израсходованного топлива за цикл «запуск-работа-остановка двигателя»;  $p=1,2, n$  – количество циклов;  $V_0$  – объем израсходованного топлива, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла.

Объем израсходованного топлива, соответствующий предельной выработке ресурса моторного масла, определяется по формуле:

$$V_0 = \frac{G_T \cdot t}{\rho}, \quad (2)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $t$  – периодичность замены масла в часах работы двигателя, установленная заводом изготовителем, ч;  $\rho$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>.

Часовой расход топлива определяется по формуле:

$$G_T = \frac{g_e \cdot N_e}{10^3} \quad (3)$$

где  $g_e$  – эффективный удельный расход топлива;  $N_e$  – эффективная мощность.



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

Из выражения (1) видно, что степень выработки ресурса моторного масла можно определить после каждой остановки двигателя.

Испытания по определению порогового значения предельной выработки ресурса моторного масла по комплексному показателю, учитывающему суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя Д-245.5S2 и количество циклов его пуска, проводились на учебном тракторе Беларус-925М, принадлежащем УО «БГАТУ», и на тракторе Беларус-952, находящемся в реальных условиях эксплуатации и принадлежащем СПК «Радонежское» Кобринского района, с установленной на них телематической системой контроля расхода топлива и режимов работы силового агрегата фирмы СП «Технотон».

В качестве исходных данных для проведения экспериментальных исследований были приняты регламентированный производителем срок замены моторного масла [4] через 250 ч работы двигателя, гипотеза о зависимости 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. Контрольный забор моторного масла производился 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. Затем определялось ще-

лочное 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, и затем строилась графическая зависимость изменения темпа указанных показателей в процессе проведения исследований.

Параллельно брались пробы масла и исследовались показатели расхода топлива и режимов работы другого подконтрольного объекта, находящегося в реальных условиях эксплуатации, трактора Беларус-952, оснащенного аналогичным двигателем и проводился анализ результатов.

В результате проведенных испытаний трактора Беларус-952, находящегося в реальных условиях эксплуатации (см. таблицу), установлено также, что темп изменения щелочного числа моторного масла М14Г<sub>2</sub> в процессе эксплуатации пропорционален количеству пусков двигателя и суммарному расходу топлива за циклы «пуск-работа-останов двигателя» (рис. 2).

**Сводный отчет режимов работы подконтрольного трактора Беларус-952 за период между свежее залитым маслом (первая проба) и забором второй пробы моторного масла**

#	Дата	Пройденный путь (GPS датч) км	Время в движении (GPS) ч:мм	Время работы двигателя ч:мм	Время простоя с вкл. двигателя ч:мм	Средняя скорость (GPS датч) км/ч	Израсходовано топлива л	Заправки топлива: (кол-во объем) л	Сливы топлива: (кол-во объем) л	Средний часовой расход топлива л/ч
1	11.08	66.6	4:55	9:28	4:33	14	48.9	-- --	-- --	5.2
2	12.08	61.8	4:43	9:10	4:28	13	44.4	-- --	-- --	4.8
3	13.08	92.7	6:24	9:34	3:10	14	54.7	-- --	-- --	5.7
4	14.08	94.7	5:56	9:34	3:38	16	52.9	-- --	-- --	5.5
5	15.08	40.6	2:46	6:20	3:34	15	30.0	-- --	-- --	4.7
6	16.08	0.1	0:01	0:02	0:01	--	0.1	-- --	-- --	--
7	17.08	83.9	5:40	9:36	3:56	15	50.8	-- --	-- --	5.3
8	18.08	87.9	5:48	9:37	3:50	15	50.7	-- --	-- --	5.3
9	19.08	77.7	4:28	8:23	3:56	17	42.3	-- --	-- --	5.0
10	20.08	6.9	0:21	0:32	0:11	20	3.9	-- --	-- --	7.4
11	21.08	0.1	0:01	0:03	0:02	--	0.2	-- --	-- --	--
12	22.08	0.0	0:00	0:04	0:04	--	0.2	-- --	-- --	2.5
13	23.08	0.6	0:07	0:26	0:18	5	1.4	-- --	-- --	3.3
14	24.08	17.1	1:48	5:14	3:25	9	17.0	-- --	-- --	3.3
15	25.08	67.2	5:01	8:03	3:02	13	44.0	-- --	-- --	5.5
<b>Итого</b>		<b>697.9</b>	<b>47:58</b>	<b>86:07</b>	<b>38:09</b>		<b>441.5</b>	-- --	-- --	--

Проанализировав сводные отчеты режимов работы колесного трактора, находящегося в реальных условиях эксплуатации, видно, что за время испытаний с 10 августа по 4 декабря 2017 года трактор Беларус-952 отработал 93 дня. В день в среднем осуществлялось 5 пусков двигателя и как минимум первый пуск – пуск не прогретого (до +40°С) двигателя.

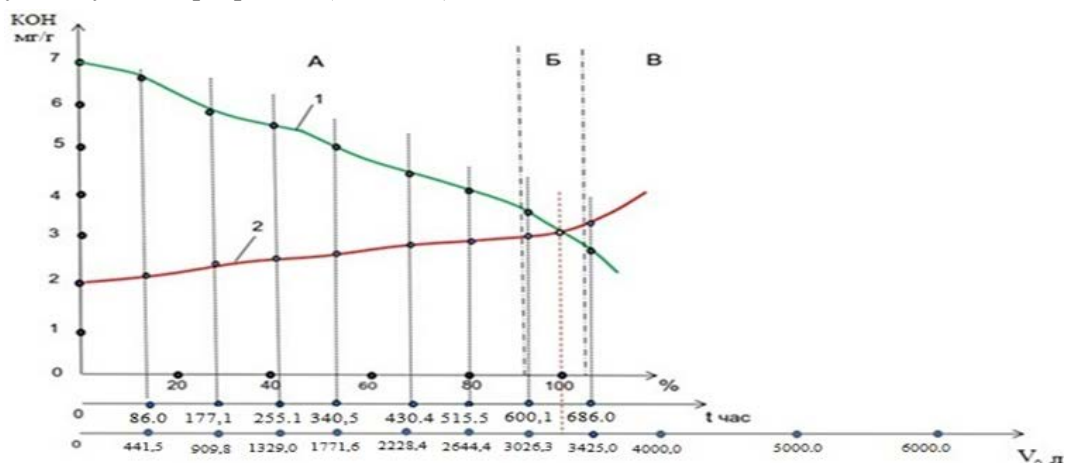


Рис. 2. Динамика изменения показателей работающего моторного масла марки М14Г<sub>2</sub>:  
1 – щелочное число; 2 – кислотное число; А – эффективная работа масла; Б – диапазон замены масла; В – интенсивное старение масла

Таким образом, за все время трактор проработал 93 дня, где было  $93 \times 5 = 465$  пусков двигателя, из них как минимум  $m_1 = 93$  – не прогретого (до +40°С), а прогретого (свыше +40°С) –  $m_2 = 465 - 93 = 372$  пуска.

Проанализировав графики (рис. 2), зависимости часового расхода топлива от температуры и обо-

ротов коленчатого вала двигателя колесного трактора за цикл «пуск-прогрев-работа-останов» следует, 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 составит  $k_1=0,001$ – при пуске двигателя, не прогретого (до +40°С).

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 формуле (2) и заносился в память бортового компьютера:

$$V_0 = \frac{G_r \cdot t}{\rho} = \frac{19,44 \cdot 250}{0,84} = 5785,7 \text{ л.}$$

Часовой расход топлива для двигателя Д-245.5S2, установленного на тракторе Беларус-952, определяется по формуле (3):

$$G_r = \frac{g_e \cdot N_e}{10^3} = \frac{240 \cdot 81}{1000} = 19,44 \text{ кг/ч.}$$

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

Из этого следует, 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 4), учитывающему суммарный расход топлива (характеризующий температурные условия и режимы работы контролируемого объекта) и количество циклов пуска двигателя:

$$\Delta = \left( \frac{\sum_{p=1}^n V_p}{V_0} + m_1 \cdot k_1 + m_2 \cdot k_2 \right) \cdot 100 \% = \left( \frac{3240}{5785,7} + 93 \cdot 0,001 + 372 \cdot 0,0009 \right) \cdot 100 \% \approx 100 \% \quad (4)$$

где  $m_1, m_2$  – 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.

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.

### **Заключение**

Использование объема израсходованного топлива двигателем при определении степени выработки ресурса моторного масла позволит оперативно, в любой период эксплуатации колесных и гусеничных машин, определять остаточный ресурс моторного масла, а также прогнозировать время его замены.

Определено пороговое значение предельной выработки ресурса моторного масла марки М14Г<sub>2</sub> ( $V_0 = 5785,7$  л) колесного трактора Беларус-952 с двигателем Д-245.5S2, находящегося в реальных условиях эксплуатации, позволяющее прогнозировать выработку ресурса моторного масла, используя при этом комплексный показатель, учитывающий суммарный объем израсходованного топлива на различных режимах работы двигателя и количество циклов его пуска.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Карпиевич, Ю. Д. Бортовой мониторинг степени выработки ресурса моторного масла колесных и гусеничных машин / Ю. Д. Карпиевич, Н. Г. Мальцев, И. И. Бондаренко // Наука и техника. – 2014. – № 4. – С. 10–14.
2. Карпиевич, Ю. Д. Новый метод бортового мониторинга степени выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко, 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. Карпиевич, Ю. Д. Диэлектрическая проницаемость как показатель степени выработки ресурса моторного масла / Ю. Д. Карпиевич, Д. А. Русакевич, И. И. Бондаренко // 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.
5. Патент ЕА 012556 В1 «Способ определения времени работы двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления», Публ. 2009.10.30.