

ЭНТРОПИЯ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ ПРИРАБОТОЧНОГО МАСЛА ПРИ ОБКАТКЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Валерий Васильевич Остриков¹
Сергей Николаевич Сазонов¹
Дмитрий Игоревич Афанасьев¹
Алла Владимировна Забродская¹
Владимир Васильевич Василенко²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Рассмотрены некоторые процессы изменения свойств приработочного масла в двигателях внутреннего сгорания с точки зрения энтропийной теории внутренней энергии системы, изменяющейся пропорционально скорости химических превращений в масле на поверхности трения. Приняты допущения, что под воздействием высоких температур в смазочном приработочном масле в процессе обкатки происходит изменение основы и химического состава присадок, а процесс старения можно считать повторяющимся. На основе сделанных допущений получена циклограмма работы приработочного масла в двигателе внутреннего сгорания с учетом восстановления его свойств после обкатки. Установлено, что изменение энтропии будет определяться суммой изменений энтропий в каждом отдельном процессе. Определено, что одним из важнейших показателей, характеризующим процесс химических превращений в масле под действием высоких температур, является вязкость масла, взаимосвязанная с накоплением продуктов окисления. Представлена теоретическая зависимость изменения относительной вязкости к относительному времени работы масла в отремонтированном двигателе внутреннего сгорания. При этом энтропия, сопровождаемая накоплением энергии, будет изменяться по экспоненциальной зависимости и может быть описана логарифмическим уравнением, связывающим время работы масла с энтропией. Предельное изменение энтропии характеризуется изотермическим процессом при усредненной температуре масла и максимальной нагрузке. Полученные выражения с определенной точностью описывают процесс изменения свойств приработочного масла при обкатке отремонтированных двигателей тракторов и позволяют в первом приближении прогнозировать увеличение сроков службы масла за счет периодического удаления примесей и внесения специальных добавок в масло. На основании данного подхода к рассмотрению процесса старения масла разрабатывается технологический процесс использования приработочного масла, способного увеличить ресурс использования масла и отремонтированных двигателей тракторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: приработочное масло, энтропия, двигатель, обкатка, цикл, вязкость, зависимость.

THE ENTROPY OF THE PROCESS OF BREAK-IN-OIL AGING AT RUNNING-IN OF ENGINES OF TRACTORS

Valery V. Ostrikov¹
Sergey N. Sazonov¹
Dmitry I. Afanasyev¹
Alla V. Zabrodskaya¹
Vladimir V. Vasilenko²

¹All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Some processes of changing the properties of break-in-oil in internal-combustion engines are considered from the point of view of the entropy theory of the internal energy of the system, which varies in proportion to the rate of chemical transformations in oil on the friction surface. The authors admit an assumption that under the influence of high temperatures of the lubricating break-in-oil there are changes in the base and the chemical composition of the additives, and the aging process can be considered as a repetitive. On the basis of the assumptions made, a cycle of work of break-in-oil in internal-combustion engines was obtained, taking into account the restoration of its properties after running-in. It is established that changes in the entropy are determined by aggregated amount of

changes in each analyzed process. It is determined that one of the most important indicators characterizing the process of chemical transformations in oil under the effect of high temperatures is used oil viscosity interrelated with the accumulation of oxidation products. The authors present the theoretical dependence of the changes in the relative viscosity on the relative time of oil operation in the repaired internal-combustion engine. In such a case, the entropy accompanied by the accumulation of energy, will vary exponentially and can be described by the logarithmic equation that associates the time of operation of the oil and the entropy. The limiting change in entropy is characterized by an isothermal process with an average oil temperature and maximum load. The obtained expressions with the defined accuracy describe the process of changing the properties of break-in-oil of the repaired engines of tractors and allow in the first approximation predicting an increase of service life of the oil due to periodic removal of impurities and addition of special agents in the oil. On the basis of this approach to the process of oil decomposition, a technological process of oil usage is developed, that can increase not only oil service life, but repaired engines of tractors.

KEYWORDS: break-in-oil, entropy, engine, running-in, cycle, viscosity, dependence.

Введение

Как известно, приработочное масло по сравнению с моторным, выполняет свои функции в двигателе достаточно короткое время [1, 7, 10, 11]. То есть за короткий промежуток времени приработочное масло подвергается незначительной термической полимеризации, однако в нем накапливаются продукты сгорания топлива, масла, смолы, асфальтены, примеси. Все эти изменения вызывают необходимость определения сроков службы приработочного масла, используемого при обкатке отремонтированной сельскохозяйственной техники.

В настоящее время, несмотря на большое количество разработок, направленных на определение оптимальных сроков службы моторных масел, отсутствуют рациональные модели прогнозирования сроков использования приработочных масел. Несовершенство системы использования прошедшего одноразовую обкатку в двигателе приработочного масла требует обоснования новых подходов к его дальнейшему применению на основании показателей фактического состояния.

Результаты и их обсуждение

Ряд авторов [2, 4, 5, 6] при рассмотрении теории процесса старения масла используют энтропию, полагая, что внутренняя энергия системы изменяется пропорционально скорости химических превращений в смазочном масле с точки зрения изменения содержания присадок, их состава и свойств.

Рассматривая энтропию как основополагающую составляющую процесса старения и изменения свойств приработочного масла, сделаем следующие допущения:

1) приработочное масло представляет собой углеводородную основу с присадками, при этом под действием высоких температур в нем происходит ряд химических превращений, изменяющих структуру основы и химический состав присадок и добавок;

2) процесс старения приработочного масла является в определенной степени необратимым. В то же время за счет добавления некоторых компонентов и удаления сработавшей части основы и присадок масло можно считать частично отработанным, а процесс циклично повторяющимся.

Процесс работы приработочного масла на основе сделанных допущений можно представить как совокупность последующих циклов (рис. 1):

0 – 1 – изобарный процесс нагрева приработочного масла в период холодной обкатки двигателя (от момента начала прокручивания), когда температура масла равна температуре окружающей среды t_0 до рабочей температуры t_1 ;

1 – 2 – изотермический процесс работы масла, когда температура масла изменяется в зависимости от увеличивающейся нагрузки и доходит до какого-то определенного предела;

2 – 3 – изотермический процесс, когда температура масла практически не повышается за счет установившегося режима и работы системы охлаждения;

3 – 4 – изохорный процесс, когда масло после проведения операции обкатки сливается и охлаждается до определенной температуры;

4 – 5 – изотермический процесс воздействия на масло при его очистке от продуктов износа при постоянной температуре (по специальной технологии на установке для очистки масла);

5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – процессы, повторяющие 0 – 4 при проведении обкатки последующих двигателей на масле, после его очистки.

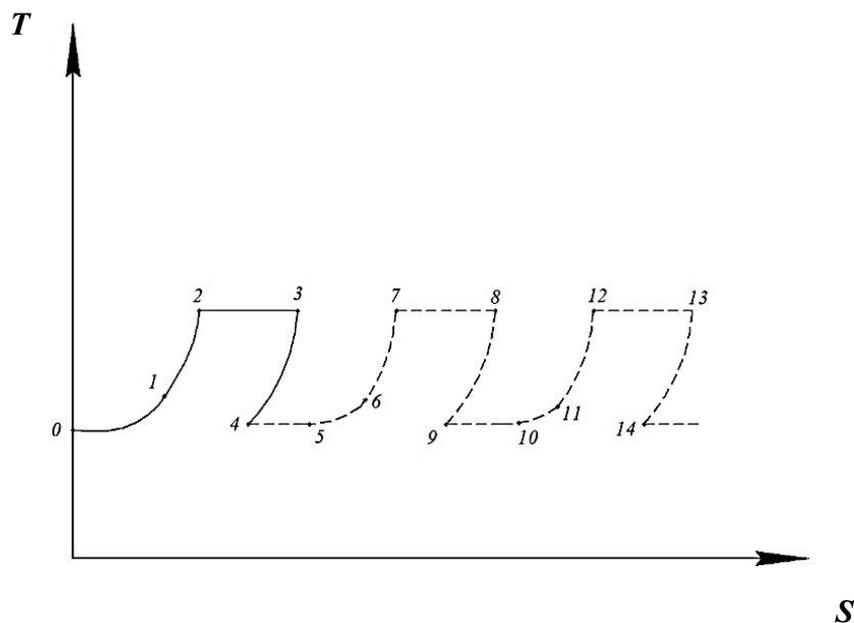


Рис. 1. Циклы работы приработочного масла в двигателях

Принятая трехкратная цикличность объясняется и ограничивается срабатыванием присадок и добавок в приработочном масле, что требует экспериментального подтверждения.

Изменение энтропии цикла будет определяться суммой изменения энтропии в каждом отдельном процессе, а общее изменение будет равно

$$A_{Si} = \sum_i^n \Delta A_{Si} \text{ (цикл) }, \quad (1)$$

где ΔA_{Si} – изменение энтропии в i цикле, кДж/(кг·К).

Одним из показателей, характеризующим процесс старения масла, является вязкость масла, которая взаимосвязана с накоплением продуктов окисления углеводородной основы, образования смол и срабатывания присадок, добавок [3, 8, 9].

Для нашего цикла

$$v_{M1} = v_{OM}. \quad (2)$$

Для последующих циклов

$$v_{M2} = v_{M1} \cdot \left(1 + 0,03 \cdot \left(\frac{T_{M(1-2)}}{24 \cdot n} \right)^{0,414} \right), \quad (3)$$

где $T_{M(1-2)}$ – текущее время определения.

Весь процесс работы приработочного масла в ДВС за все циклы и этапы подчиняются степенной зависимости (рис. 2).

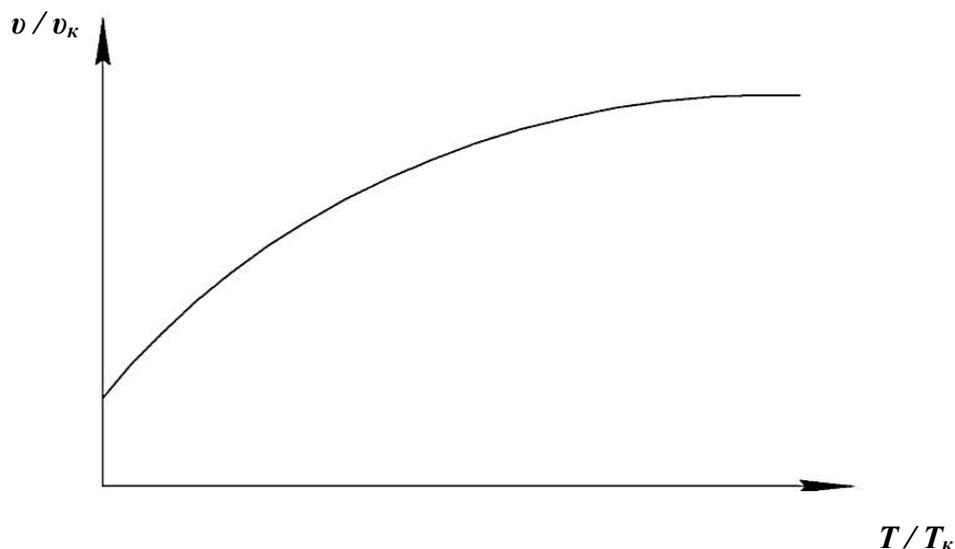


Рис. 2. Зависимость изменения относительной вязкости к относительному времени работы масла в ДВС

При этом энтропия, сопровождаемая накоплением энергии, будет изменяться по экспоненциальной зависимости и может быть описана уравнением, связывающим время работы масла с энтропией

$$T = -\frac{1}{\nu} \cdot \ln \left(1 - \frac{\Delta A_{Si}}{x \cdot \Delta A_{SP}} \right), \quad (4)$$

где ν – коэффициент скорости срабатывания присадок, добавок ($\nu = 3 \cdot 10^{-3}$);

ΔA_{SP} – величина предельного изменения энтропии, когда дальнейшее использование приработочного масла нецелесообразно (кДж/кг·К);

x – коэффициент, учитывающий работоспособность масла (принимается в соответствии с результатами исследований по определению степени соответствия масла двигателю) [4, 5].

Предельное изменение энтропии ΔA_{SP} , которое могло бы иметь приработочное масло в процессе всего периода использования, определим как изотермический процесс при усредненной температуре масла и максимальной нагрузке

$$\Delta A_{SP} = \frac{\Delta q_{xp}}{T_p} = \frac{\delta \cdot \varphi_x \cdot N \cdot T_{ПП} \cdot 3600}{\sigma_M \cdot T_P}, \quad (5)$$

где δ – коэффициент, учитывающий величину доли тепла, получаемой маслом (принимается равным 0,6) [7];

φ_x – коэффициент, учитывающий величину доли тепла, расходуемой на протекание химической реакции ($\varphi_x = 0,015$);

$T_{ПП}$ – прогнозируемое время работы масла при максимальной мощности.

Заключение

Полученные выражения и зависимости позволят определить направления повышения эффективности использования приработочного масла в технологическом процессе обкатки отремонтированных двигателей тракторов.

Библиографический список

1. Воинов Н.П. Подбор смазочных материалов для обкатки двигателей и механизмов / Н.П. Воинов. – Москва : Государственное научно-техническое изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1950. – 86 с.

2. Гуреев А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. – Москва : Химия, 1986. – 368 с.
3. Остриков В.В. Физико-химические процессы «старения» моторных масел и способы их замедления / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2004. – № 2. – С. 47–51.
4. Салмин В.В. Обеспечение сохраняемости мобильной техники путем подбора антикоррозионных смазочных материалов : монография / В.В. Салмин, Д.Ю. Вавилкин. – Пенза : ПГУАС, 2013. – 136 с.
5. Салмин В.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных двигателей совершенствованием трибохимических и гидро-термодинамических процессов в смазочных системах: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / В.В. Салмин. – Саранск, 2003. – 475 с.
6. Серегин Е.П. Химмотология и современность: достижения и проблемы / Е.П. Серегин // Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 11. – С. 2–4.
7. Сорокин И.А. Ускоренная обкатка как контроль качества ремонта дизельных двигателей Д-240 / И.А. Сорокин // Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 2 (21). – С. 50–57.
8. Перминов Б.Н. Теоретическое исследование старения моторного масла в судовых тронковых дизелях / Б.Н. Перминов // Труды Дальневосточного государственного университета. – № 137. – 2004. – С. 162–169.
9. Тупотилов Н.Н. Особенности кинетики «старения» работающих моторных масел / Н.Н. Тупотилов, В.В. Остриков, В.В. Жилин // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 3. – С. 32–33.
10. Храмцов Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмцов. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 123 с.
11. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей / Г.П. Шаронов. – Москва : Химия, 1965. – 222 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Валерий Васильевич Остриков – доктор технических наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Сергей Николаевич Сазонов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8 (4752) 44-64-24, e-mail: snsazon@mail.ru.

Дмитрий Игоревич Афанасьев – младший научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Алла Владимировна Забродская – научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» г. Тамбов, Российская Федерация, тел. 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.07.2018

Дата принятия к печати 10.08.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Valery V. Ostrikov – Doctor of Engineering Sciences, Head of the Laboratory for Use of Lubricants and Waste Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Sergey N. Sazonov – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Scientific Researcher, Laboratory of Operational Requirements for Agricultural Machinery, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8 (4752) 44-64-24, e-mail: snsazon@mail.ru.

Dmitry I. Afanasyev – Junior Scientific Researcher, Laboratory for Use of Lubricants and Waste Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Alla V. Zabrodsкая – Scientific Researcher, Laboratory for Use of Lubricants and Waste Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Oil Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8 (4752) 44-65-36, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vladimir V. Vasilenko – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Received July 16, 2018

Accepted August 10, 2018