государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Россия, г. Саратов, e-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Першин Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vyazinkin Viktor – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Zabrodsкая Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Safonov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Vavilov Agrarian University”, Russia, Saratov, e-mail: safonow2010sgau@yandex.ru.

Pershin Vladimir – Full Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: pershinhome@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 621.892

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-77-83

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИСПЕРГИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

^{1,2}Остриков Валерий Васильевич

¹Вигдорович Михаил Владимирович

¹Нагдаев Владимир Константинович

³Оробинский Владимир Иванович

³Афоницев Дмитрий Николаевич

¹Забродская Алла Владимировна

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

²ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Реферат. Установлено, что по мере изменения количества диспергирующей присадки в масле снижаются эксплуатационные характеристики двигателя и срок службы масла до замены. Но простые и эффективные методы определения диспергирующих свойств в условиях эксплуатации отсутствуют. Закономерности изменения концентрации присадок в моторном масле основаны на законах химической кинетики. В результате теоретического анализа, базирующегося на известных данных, получена зависимость изменения диспергирующих свойств масла от содержания загрязняющих примесей и дифференциальное уравнение, описывающее процесс. Математический анализ привел к выражению, описывающему изменения количества присадки в масле с учетом непрерывного угара и долива, зависящего от времени. Относительно

критического значения концентрации присадки получено выражение, позволяющее численно или приближенным методом определить время работы механизма до срабатывания присадки. В случае равенства в модели скоростей угара и долива полученные выражения упрощаются, естественным образом переходя в известные уравнения. Содержание присадки при длительной работе двигателя стремится к нулю, поскольку долив и угар носят ограниченный характер и могут приводить только к локальным экстремумам. Полностью восстанавливается содержание присадки только при полной замене масла, содержащего присадку в системе. При теоретическом анализе более реалистичной модели, в которой скорость угара постоянна, а долив осуществляется дискретно, интегрируя уравнения с учетом функции Хевисайда, получено выражение, описывающее изменение концентрации диспергирующей присадки. Локальные экстремумы, вследствие долива свежего масла с присадкой в отдельные моменты времени носят более резкий характер. В результате математических преобразований получено решение в общем виде для имевших место доливов масла с присадкой к определенному моменту времени. На основании проведенных теоретических исследований рассмотренных моделей разрабатывается программа, позволяющая в целом проводить замену масла по фактическому состоянию, что в конечном результате увеличивает срок службы двигателя, снижает его износ и уменьшает затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Ключевые слова: моторное масло, диспергирующие присадки, угар, долив, зависимость, модель, уравнение, время.

THEORETICAL EVALUATION OF THE DISPERSING PROPERTIES OF ENGINE OIL

^{1,2}Ostrikov Valery

¹Vigdorovich Mikhail

¹Nagdaev Vladimir

³Orobinsky Vladimir

³Afonichev Dmitry

¹Zabrodsкая Alla

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

²FSBEI HE "Michurinsky State Agrarian University"

³FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great"

Abstract. It has been found that engine performance and oil life before oil change decreases as the amount of dispersant in the oil changes. However, there are no simple and effective methods for determining the dispersant properties under operating conditions. The dependence of the change in the dispersant properties of the oil on the content of contaminants and the differential equation describing the process were obtained as a result of theoretical analysis based on known data. Mathematical analysis led to an expression describing the change in the amount of additive in the oil, taking into account continuous waste and topping up, depending on time. An expression that makes it possible to determine, numerically or by an approximate method, the operating time of the mechanism before the additive is triggered, is obtained with respect to the critical value of the additive concentration. In the case of equality in the model of the burn-out and topping-up rates, the obtained expressions are simplified, naturally passing into the well-known equations. The content of the additive tends to zero during prolonged engine operation, since topping up and waste are limited and can only lead to local extremes. The additive content is completely restored only with a complete replacement of the oil containing the additive in the system. The solution in general form for the additions of oil with an additive that took place at a certain point in time was obtained as a result of mathematical transformations. A program that allows, in general, to carry out an oil change according to the actual state, which ultimately increases the service life of the engine, reduces its wear and reduces the cost of maintenance and repair, is developed on the basis of theoretical studies of the considered models.

Keywords: engine oil, dispersing additives, waste, topping up, dependence, model, equation, time.

Введение. Моторное масло представляет собой достаточно сложную субстанцию, изменяющуюся во времени работы в двигателе внутреннего сгорания. В состав моторного масла

входит большое количество присадок, снижающих процесс окисления, образования отложений и осадков на деталях двигателя [1 – 3]. Одной из важнейших функций присадок является обеспечение свойств, удержания накапливающихся загрязнений в масле во взвешенном состоянии [1]. К таким присадкам относятся сульфонатные, алкилфенольные, алкилсалицилаты, беззольные диспергирующие присадки [1, 2]. Беззольные диспергирующие присадки способствуют удержанию твердых продуктов окисления во взвешенном состоянии, предотвращают их осаждение в картере и уменьшают нагарообразование на деталях цилиндро-поршневой группы.

Обсуждение результатов. По мере наработки масла, угара, накопления загрязнений количество диспергирующих присадок в масле снижается, и их остаточное содержание в условиях эксплуатации определить достаточно сложно. Наиболее простым способом определения диспергирующих свойств работающего моторного масла в условиях эксплуатации является метод, при котором масляное пятно на фильтровальной бумаге сопоставляют с эталонными образцами [4,5, 6]. Способ имеет значительную ошибку определения и требует дополнительных теоретических исследований и практического совершенствования. Свойства масла, при их анализе по масляному пятну, оцениваются в баллах, в зависимости от содержания диспергирующей присадки (рисунок 1).

Рисунок 1 – Зависимость изменения свойств масла от содержания диспергирующей присадки

Рассматривая связь диспергирующих свойств масла с количеством присадки, выражение для оценки ДСС масла можно представить формулой:

$$D_{cc} = \kappa \cdot \frac{q}{q_0} + D_{cc}(0) \quad (1)$$

где $D_{cc}(0)$ и D_{cc} – начальное и текущее значения диспергирующих свойств масла, q_0 , q – начальное и текущее количества диспергирующей присадки в масле; κ – коэффициент, характеризующий качественное состояние присадки.

По мере накопления загрязнений в масле диспергирующие свойства уменьшаются (рисунок 2).

Закономерности изменения концентрации присадок в моторном масле в процессе эксплуатации основаны на законах химической кинетики [3]. На основе закона действующих масс, зависимость изменения концентрации присадки от времени наработки имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (2)$$

где C — концентрация присадки, г/л, k – константа скорости срабатывания присадки.

Интегрируя выражение (2), получаем простейшую (без учета угара и долива масла) зависимость изменения концентрации присадки от времени:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (3)$$

где C_0 – начальная концентрация присадки. Зависимость (3) приведена на рисунке 3.

Рисунок 2 – Зависимость изменения диспергирующих свойств масла от содержания загрязняющих примесей.

Рисунок 3 – Зависимость содержания сульфонатных (1) и фенольных (2) присадок в масле от наработки.

Время срабатывания присадки до заданного значения концентрации:

$$t_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C_1} \quad (4)$$

За время dt количество присадки уменьшается на dC в единице объема масла или GdC во всем объеме, где G – объем масла в масляной системе двигателя

Изменение количества присадки в масле с учетом непрерывного угара и долива преобразуется в следующий вид:

$$G(t) \frac{dC}{dt} = -kCG(t) + Cv_d(t) - Cv_y(t) \quad (5)$$

где $Cv_d(t)$ и $Cv_y(t)$ представляют собой распределенные «источники» и «стоки» в объеме механизма, зависящие от времени.

Фактически, v_d – скорость долива масла, v_y – скорость угара.

Введем замену переменной $\xi = t - t_0$, тогда $t = \xi + t_0$, $dt = d\xi$.

Интегрируя (5), получим зависимость изменения концентрации присадки во времени:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{v_d(\xi) - v_y(\xi)}{G(\xi)} d\xi \right] \quad (6)$$

$$\frac{dG}{dt} = v_d(t) - v_y(t) \quad (7)$$

$$G(t) = \int_0^t v_d(\xi) d\xi - \int_0^t v_y(\xi) d\xi + G_0 \quad (8)$$

где G_0 – начальный объём масла, содержащего присадку, в системе. Подставляя уравнение (8) в уравнение (6), получаем окончательное уравнение для оценки концентрации присадки в масле в зависимости от времени:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{v_d(\xi) - v_y(\xi)}{\int_0^\xi v_d(\zeta) d\zeta - \int_0^\xi v_y(\zeta) d\zeta + G_0} d\xi \right] \quad (9)$$

Рассмотрим приближительную модель непрерывного угара и непрерывного долива, когда v_y и v_d – не зависящие от времени константы. При этом уравнение (9) примет вид:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{v_d - v_y}{(v_d - v_y)\xi + G_0} d\xi \right] = C_0 \left(1 + \frac{v_d - v_y}{G_0} t \right) \exp(-kt) \quad (10)$$

Относительно критического значения концентрации присадки уравнение (10) позволяет численно или приближённым методом определить время работы механизма до срабатывания присадки. В случае равенства в модели скоростей угара и долива уравнение (10) упрощается, естественным образом переходя в уравнение (3). Содержание присадки при длительной работе двигателя ($t \rightarrow \infty$) стремится к нулю, поскольку долив и угар масла носят ограниченный характер, и могут приводить только к локальным экстремумам, и полностью восстанавливается только при полной замене масла, содержащего присадку в системе. При этом в модели (5), (7) отсчёт времени начинается заново с $t = 0$, и начальный объём масла в системе снова равен G_0 .

Рассмотрим более реалистичную модель, в которой скорость угара – по-прежнему константа, а долив осуществляется дискретно в моменты времени t_m , $m=1, 2, \dots, n$, в объёмах $V_{d,m}$ соответственно (согласно регламенту технического обслуживания или по необходимости):

$$v_d(\xi) = \sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m), \quad (11)$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция.

Уравнение (9) при этом принимает вид:

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m) - v_y}{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \int_0^\xi \delta(\zeta - t_m) d\zeta - \int_0^\xi v_y d\zeta + G_0} d\xi \right]$$

Примем к сведению, что

$$\int_0^\xi \delta(\zeta - t_m) d\zeta = \theta(\xi - t_m)$$

где $\theta(x)$ – функция Хевисайда.

Тогда

$$C = C_0 \exp(-kt) \exp \left[\int_0^t \frac{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \delta(\xi - t_m) - v_y}{\sum_{m=1}^n V_{d,m} \theta(\xi - t_m) - v_y \xi + G_0} d\xi \right] \quad (12)$$

Так же, как и в модели непрерывных угара и долива, содержание присадки при длительной работе двигателя ($t \rightarrow \infty$) стремится к нулю. Локальные экстремумы вследствие долива масла с присадкой в отдельные моменты времени носят, по сравнению с ней, более резкий характер.

Рассмотрим «механику» решения уравнения (12) на примере. Пусть в момент времени t_1 залили $V_{d,1}$ масла с присадкой, а в момент времени t_2 залили $V_{d,2}$. Тогда в момент времени $\tau > t_2$ уравнение (12) принимает вид:

$$C(\tau) = C_0 \exp(-k\tau) \exp \left[\int_0^{t_1+\varepsilon} \frac{V_{d,1} \delta(\xi - t_1)}{V_{d,1} - v_y \xi + G_0} d\xi + \int_{t_1+\varepsilon}^{t_2+\varepsilon} \frac{V_{d,2} \delta(\xi - t_2)}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \xi + G_0} d\xi - \int_0^\tau \frac{v_y}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \xi + G_0} d\xi \right] =$$

$$C_0 \exp(-k\tau) \exp \left[\frac{V_{d,1}}{V_{d,1} - v_y t_1 + G_0} + \frac{V_{d,2}}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y t_2 + G_0} + \ln \frac{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y \tau + G_0}{V_{d,1} + V_{d,2} + G_0} \right] = C_0 \exp(-k\tau) \left(1 - \frac{v_y \tau}{V_{d,1} + V_{d,2} + G_0} \right) \times \exp \left[\frac{V_{d,1}}{V_{d,1} - v_y t_1 + G_0} + \frac{V_{d,2}}{V_{d,1} + V_{d,2} - v_y t_2 + G_0} \right] \quad (13)$$

Далее не сложно записать решение в общем виде для имевших место m доливов масла с присадкой к моменту времени τ :

$$C(\tau) = C_0 \exp(-k\tau) \left(1 - \frac{v_y \tau}{G_0 + \sum_{j=1}^m V_{d,j}} \right) \exp \left[\sum_{j=1}^m \frac{V_{d,j}}{G_0 - v_y \tau + \sum_{i=1}^j V_{d,i}} \right] \quad (14)$$

Заключение. Полученные выражения с достаточно высокой степенью достоверности позволяют определить остаточное содержание и время срабатывания диспергирующих присадок и провести замену масла по его фактическому состоянию, что в конечном результате снижает износ и увеличивает срок службы двигателя внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Школьников В.М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. – Москва: Техинформ, 1999. – 596 с.
2. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. М.: Химия, 1979. – 240 с.
3. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа. – М.: Академия, 2003. – 256 с.
4. Определение диспергирующе-стабилизирующих свойств моторных масел и их загрязненности в условиях эксплуатации / В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. И. Оробинский, Д. Н. Афоничев // Химия и технология топлив масел. – 2019. – № 5 (615). – С.48-52.
5. Skinder N.I., Guryanov Yu.A. Systematic Quality Control of Working Motor Oils. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2003. – Vol 39., No 5. – Pp. 265-268.
6. Guryanov Yu. A., Skinder N. I. Fast determination of high wear of friction units based on particle size and concentration // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2006. – Vol 42. No 1. – Pp. 60 – 66.

References

1. Shkol'nikov V.M. Topliva, smazochnye materialy, tekhnicheskie zhidkosti. Assortiment i primeneniye. – Moskva: Tekhinform, 1999. 596 s.
2. Vencel' S.V. Primeneniye smazochnykh masel v avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelyah. M.: Himiya, 1979. – 240 s.
3. Bajramov V.M. Osnovy himicheskoy kinetiki i kataliza. – M.: Akademiya, 2003. – 256 s.
4. Opredeleniye dispergiruyushche-stabiliziruyushchih svoystv motornykh masel i ih zagryaznennosti v usloviyakh ekspluatatsii / V. V. Ostrikov, S. N. Sazonov, V. I. Orobinskij, D. N. Afonichev // Himiya i tekhnologiya topliv masel. – 2019. – № 5(615). – S.48-52.
5. Skinder N.I., Guryanov Yu.A. Systematic Quality Control of Working Motor Oils. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2003. – Vol 39., No 5. – Pp. 265-268.
6. Guryanov Yu. A., Skinder N. I. Fast determination of high wear of friction units based on particle size and concentration // Chemistry and Technology of Fuels and Oils USA. – 2006. – Vol 42. No 1. – Pp. 60 – 66.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Остриков Валерий Васильевич – доктор технических наук, врио директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Вигдорович Михаил Владимирович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de

Нагдаев Владимир Николаевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Оробинский Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский

государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru

Забродская Алла Владимировна – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Author credentials

Affiliations

Ostrikov Valery Vasilievich – Full Doctor of Technical Sciences, Acting Director of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Vigdorowitsch Michael – Full Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: dr.vigdorowitsch@angara-gmbh.de.

Nagdaev Vladimir – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Orobinsky Vladimir – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Afonichev Dmitry – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great”, Russia, Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Zabrodskaya Alla – Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Поступила в редакцию (Received): 02.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 14.04.2021

УДК 620.197.7:631.17

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-83-94

О ЗАЩИТЕ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АПК

¹Зеленцова Вероника Александровна

²Белоглазов Сергей Михайлович

³Князева Лариса Геннадьевна

³Корнев Алексей Юрьевич

¹ГАУ КО ДПО «Институт развития образования»

²ФГАОУ ВО Балтийский Федеральный университет им. И. Канта

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Для защиты от коррозии резервуаров хранения нефтепродуктов в АПК необходимо подбирать материалы, которые, помимо высокой защитной эффективности обладают высокой бактерицидной способностью. В данной работе с этой целью изучали действие 12 хиральных анионных комплексов кобальта (III), 6 из которых имели атом брома в своей структуре, в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали Ст3 с одновременной оценкой их бактерицидного действия на сульфатредуцирующей бактерии (СРБ). В качестве модельной коррозионной среды использовали водно-солевой раствор Postgate В, поддерживающий развитие анаэробных СРБ. Для культивирования СРБ отбирали ил в весенний период из природного источника. Максимум численности СРБ наблюдали на 3 – 4 сутки эксперимента. Бактерицидную способность оценивали по данным бактериального титра, водородного показателя среды,