

УДК 621.89

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ РЕСУРСА МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ ТРАКТОРА

Григорьев Евгений Александрович
аспирант

SPIN-код автора 6721-8239

РИНЦ Author ID = 1209961

e-mail: zhenya.grigorev.99@inbox.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Химченко Аркадий Васильевич

канд. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 4568-1757

РИНЦ Author ID = 850106

e-mail: himch.arkady@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Оробинский Владимир Иванович

д-р с.х. наук, профессор

SPIN-код автора 6899-5667

РИНЦ Author ID = 604568

e-mail: main@agroeng.vsau.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Мищенко Николай Иванович

д-р тех. наук, профессор

SPIN-код автора 6604-8459

РИНЦ Author ID = 869857

e-mail: mim2802@mail.ru

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Россия

В статье предложена методика определения параметров модели для оценки остаточного ресурса масла в двигателе внутреннего сгорания трактора. Использовались такие методы как общий анализ, имитационное моделирование, методы оптимизации. В основу модели цифрового двойника положена зависимость изменения щелочного числа масла от времени наработки, нагрузки на двигатель и частоты вращения коленчатого вала в дифференциальной форме. В работе предложена методика определения коэффициентов модели, с помощью идентификации на основе подбора параметров. Проведен анализ модели для определения границ значений этих коэффициентов. Показано, что при

UDC 621.89

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (agricultural sciences)

THE METHOD OF DETERMINING THE PARAMETERS OF THE OIL RESOURCE MODEL IN THE TRACTOR ENGINE

Grigoriev Evgeny Alexandrovich
graduate student

RSCI SPIN-code: 6721-8239

RSCI Author ID = 1209961

e-mail: zhenya.grigorev.99@inbox.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Khimchenko Arkady Vasilyevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 4568-1757

RSCI Author ID = 850106

e-mail: himch.arkady@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Orobinsky Vladimir Ivanovich

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 6899-5667

RSCI Author ID = 604568

e-mail: main@agroeng.vsau.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Mishchenko Nikolai Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 6604-8459

RSCI Author ID = 869857

e-mail: mim2802@mail.ru

Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia

The article proposes a method for determining the parameters of a model for estimating the residual oil life in a tractor internal combustion engine. Methods such as general analysis, simulation modeling, and optimization methods were used. The basis of the digital twin model is the dependence of the change in the base number of the oil on the operating time, engine load and crankshaft speed in a differential form. The paper proposes a method for determining the coefficients of the model, using identification based on the selection of parameters. The model is analyzed to determine the boundaries of the values of these coefficients. It is shown that when optimizing by various numerical methods, including gradient, scanning, and simple

оптимизации различными численными методами, включая градиентные, методы сканирования и методы простого поиска, наилучший результат дал метод нелинейных квадратов. В результате получены значения коэффициентов модели цифрового двойника при проведении пробных испытаний. Работа показала, что предложенная методика может быть применена при определении параметров модели цифрового двойника изменения состояния моторного масла. Методика может применяться для уточнения параметров, что обеспечивает возможность более точного прогнозирования остаточного ресурса масла. Кроме того, она может быть применена для разных моделей поршневых двигателей и марок моторных масел

Ключевые слова: МОТОРНОЕ МАСЛО, МЕТОДИКА, ФАКТОРЫ, УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ, МОДЕЛЬ, ЩЕЛОЧНОЕ ЧИСЛО

search methods, the nonlinear squares method gave the best result. As a result, the values of the coefficients of the digital twin model were obtained during the trial tests. The work has shown that the proposed technique can be applied in determining the parameters of the digital twin model of the engine oil condition change. The technique can be used to refine the parameters, which makes it possible to more accurately predict the remaining oil life. In addition, it can be applied to different models of reciprocating engines and brands of engine oils

Keywords: ENGINE OIL, METHODOLOGY, FACTORS, REGRESSION EQUATION, MODEL, BASE NUMBER

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-217-015>

Введение. Старение моторного масла в процессе эксплуатации представляет собой сложный физико-химический процесс, приводящий к необратимому ухудшению его свойств. В связи с этим, одной из важнейших задач в области технической эксплуатации мобильных энергетических средств становится возможность определения состояния масла в любой момент времени для его своевременной замены. Существующие подходы к решению этой задачи можно условно разделить на методы, основанные на фактическом определении показателей состояния масла [2, 3], и методы прогнозирования, основанные на влиянии факторов. Одними из перспективных являются методы регрессионного моделирования [1, 6, 7], позволяющие связать скорость деградации масла с измеряемыми параметрами. В этом случае можно обратиться к концепции цифрового двойника.

Так как цифровой двойник – это виртуальный прототип реального физического изделия, группы изделий или процесса, суть которого заключается в сборе и повторном использовании цифровой информации, фактически это математическая модель. В современных условиях цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии разработки и изготовления продукта: агрегация данных продолжается в течение

<http://ej.kubagro.ru/2026/03/pdf/15.pdf>

всего жизненного цикла объекта [5]. Модель, которая ляжет в основу получения цифрового двойника должна быть разработана на основе реальных данных.

Анализ работ по теме исследования показал, что в настоящее время отсутствуют регрессионные модели, описывающие изменение состояния масла в зависимости от влияния нескольких эксплуатационных факторов.

Чтобы получить данные для создания цифрового двойника остаточного ресурса масла в двигателе можно воспользоваться системой мониторинга, установленной на тракторе. Стоит отметить, что модель, построенная на основе таких данных, будет выдавать адекватные результаты только для конкретной модели двигателя и марки масла, что не будет являться универсальным решением. Однако каждый коэффициент уравнения регрессии, как правило, имеет определенный смысл. Одни коэффициенты будут определять общий характер зависимости, другие – определять степень влияния факторов. Меняя коэффициенты, можно адаптировать модель. В связи с этим необходима методика определения коэффициентов уравнения регрессии, которое лежит в основе модели цифрового двойника.

Таким образом, цель работы – разработать методику определения значений параметров модели ресурса масла в двигателе трактора для цифрового двойника.

Материалы и методы. В работе использовались общий анализ, имитационное моделирование, методы оптимизации.

Анализ динамики изменения щелочного числа. Анализ работ разных авторов показал, что характер изменения щелочного числа моторного масла носит экспоненциальную зависимость [4]. Наибольшее влияние на изменение щелочного числа оказывают эксплуатационные факторы, а именно: нагрузка на двигатель, частота вращения коленчатого вала двигателя. Эти факторы имеют линейное или близкое к нему влияние, поэтому предлагается использовать следующее выражение для описания модели:

$$CH = a_1 + a_2 e^{T_H \left(a_3 + \frac{M a_5}{M_{\max}} + \frac{a_4 n}{n_N} \right)}, \quad (1)$$

где T_H – время наработки, моточас; M и M_{\max} – текущий и максимальный на данном скоростном режиме крутящие моменты двигателя, Н·м; n и n_N – текущий и номинальный скоростной режим, выраженный частотой вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹; a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коэффициенты уравнения регрессии;

Для расчета остаточного ресурса масла в процессе эксплуатации необходимо чтоб модель отражала изменение параметров в динамике в зависимости от времени работы. Проведем ряд преобразований.

Введем коэффициент использование мощности двигателя u :

$$u = \frac{M}{M_{\max}}. \quad (2)$$

Количество моточасов работы двигателя напрямую связано с относительной частотой вращения коленчатого вала двигателя и с астрономическим временем следующим соотношением:

$$T_H = t \frac{n}{n_N}. \quad (3)$$

Проведем замену в выражении (1) в соответствии с выражениями (2) и (3). Получим:

$$CH = a_1 + a_2 e^{\frac{nt \left(a_3 + a_5 u + \frac{a_4 n}{n_N} \right)}{n_N}}. \quad (4)$$

Некоторые переменные в представленном выражении будут изменяться со временем, то есть на первый взгляд: $CH = f(t)$, $n = f(t)$, $u = f(t)$. Однако, частота вращения коленчатого вала n и нагрузка на двигатель u являются квазистационарными составляющими. Их динамика не оказывает влияние на скорость деградации масла. Поэтому при дифференцировании

считаем их постоянными. Продифференцировав выражение (4) по времени, получим:

$$\frac{dCH}{dt} = \frac{a_2 n e^{\frac{nt \left(a_3 + a_5 u + \frac{a_4 n}{n_N} \right)}{n_N}} \left(a_3 + a_5 u + \frac{a_4 n}{n_N} \right)}{n_N}. \quad (5)$$

Полученное дифференциальное уравнение представляет собой зависимость скорости изменения щелочного числа и является основой модели цифрового двойника в дифференциальной форме.

Определение параметров модели. Для поисков коэффициентов уравнения (5) использовалась параметрическая идентификация модели с помощью подбора параметров в Simulink. Уравнение (5) было реализовано как имитационная модель, в которую на вход подавались n и u , изменяющиеся во времени или постоянные для номинального режима.

Были опробованы разные алгоритмы и методы оптимизации, включая градиентные, метод нелинейных квадратов и методы прямого поиска.

Использовалась функция оптимизации:

$$f_{\text{опт}} = \sum (CH_{\text{экспер}} - CH_{\text{мод}})^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $CH_{\text{экспер}}$ – щелочное число моторного масла, полученное при проведении эксперимента; $CH_{\text{мод}}$ – щелочное число моторного масла, полученное в ходе моделирования.

Такая функция минимизирует расхождение между экспериментом и результатами моделирования.

При известных значения u и n функция (6) имеет пять переменных и при неверных начальных условиях можно получить неверный локальный минимум, а полученные значения не позволят провести валидацию.

Для устойчивого решения важно максимально локализовать диапазон значений коэффициентов. Кроме того, используя принципы планирования эксперимента, можно ожидать, что однозначное решение будет при нали-

чии, хотя бы одной дополнительной степени свободы. В нашем случае для поиска пяти коэффициентов необходимы данные о $CH_{\text{экспер}}$ в шести точках.

Исходя из физического смысла процесса деградации масла, можно утверждать, что при отсутствии доливки щелочное число моторного масла может со временем работы только уменьшаться, в связи с расходом присадок, выполняющих различные, в том числе моющие, функции. Таким образом производная $\frac{dCH}{dt} \leq 0$.

Единственный множитель в выражении производной, который может иметь отрицательный знак – это выражение внутри скобок:

$$a_3 + a_5u + \frac{a_4n}{n_N} . \quad (7)$$

Очевидно, сумма слагаемых должна быть отрицательна.

Так как на номинальном режиме имеем $a_3+a_4+a_5$, и при этом, как показывают экспериментальные исследования и логика износа свойств моторного масла, скорость снижения CH максимальна, то и выражение в скобках будет иметь отрицательное значение с максимальным модулем.

Следует обратить внимание на то, что при идентификации модели по этим параметрам в некоторых условиях возможно найти достаточно большое количество сочетаний, с разной точностью удовлетворяющих экспериментальным данным и коэффициенты a_3 , a_4 , a_5 могут иметь различные по знаку значения. В особенности если использовать средние значения u и n или на номинальном режиме.

Следует заметить, что на регуляторной ветви анализируемая сумма примет вид:

$$a_3 + a_5u + a_4 \rightarrow \min . \quad (8)$$

В этом случае понятно, что чем выше нагрузка на двигатель, т.е. $u \rightarrow 1$ тем меньше значение суммы. Анализ результатов экспериментов показывает, что увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя и

увеличение нагрузки увеличивают скорость деградации моторного масла. Следовательно, a_5 имеет отрицательное значение. Аналогичные рассуждения приводят к выводу, что и a_4 имеет также отрицательное значение. То есть, значения a_3, a_4, a_5 всегда отрицательны, но это ограничение не исключает множества локальных минимумов.

Полученные выводы были проверены на основе численных экспериментов по идентификации модели и получили подтверждения.

Анализ базовой зависимости (1) показывает, что в начальный момент времени при $T_H = 0$ значение CH определяется величинами a_1 и a_2 . Причем a_1 определяет скорость в момент достижения $CH = 0$, то есть полного израсходования щелочных компонентов или достижения определенного граничного значения.

Так для $CH = 1$ после преобразований (1) можно получить уравнение:

$$-\frac{a_1 - 1}{a_2} = e^{\frac{nt \left(a_3 + a_5 u + \frac{a_4 n}{n_N} \right)}{n_N}}. \quad (9)$$

Логарифмирование правой и левой части с некоторыми математическими преобразованиями дает результат в виде

$$\frac{n_N \log \left(-\frac{a_1 - 1}{a_2} \right)}{nt} = a_3 + a_5 u + \frac{a_4 n}{n_N}. \quad (10)$$

При работе двигателя на номинальном режиме в течении всего срока эксплуатации моторного масла:

$$\frac{\log \left(-\frac{a_1 - 1}{a_2} \right)}{t} = a_3 + a_4 + a_5. \quad (11)$$

Это уравнение позволяет оценить порядок значений величин.

Для товарного моторного масла согласно ГОСТ 8581-2021 $CH_0 \leq 8,5$. Для исследуемых масел начальное значение CH часто было в диапазоне

7...9. Так как a_2 имеет значение, определяющее начальное значения щелочного числа его величина может ограничиваться пределами $\approx [7 \ 15]$. Так как a_1 это смещение относительно 0 в конце эксплуатации, то $a_1 \approx [-3, 0]$. В таком случае величина логарифма в (11) меняется в диапазоне примерно $[-2,4 \ -0,69]$.

Так как в уравнение (11) входит время, порядок значений a_3, a_4, a_5 определяется временем работы за весь срок эксплуатации моторного масла. Для деградации в течении 250 моточасов – это 900000 с, а в течении 500 моточасов – 1800000 с.

Сумма коэффициентов при этом для 250 моточасов «минус» $2,666 \cdot 10^{-6}$, а для 500 моточасов – «минус» $1,333 \cdot 10^{-6}$.

Данное значение или близкое к нему может быть использовано как ограничение при поиске коэффициентов методами оптимизации. Для получения некоторого расчетного запаса минимальное значение принималось равным «минус» 10^{-5} . Дальнейшие расчетные исследования подтвердили этот результат и позволили локализовать решение, которое для всех коэффициентов находится в пределах от «минус» $5 \cdot 10^{-6}$ до «минус» $1 \cdot 10^{-7}$.

Также необходимо помнить, что ни одно из значений a_3, a_4, a_5 не должно быть равно 0. Кроме того, значения коэффициентов не должны иметь слишком большую разницу. По крайней мере, они имеют общий порядок. В противном случае влияние отдельных факторов будет незаметно, что не соответствует действительности.

Результаты и обсуждение. Проверка методики осуществлялась на первом этапе для номинального режима. Верхняя граница значений a_3, a_4, a_5 ограничивалась 0 или «минус» $1 \cdot 10^{-7}$. Оно же использовалось для начального значения при оптимизации. Процесс оптимизации разными методами завершался следующими результатами. Градиентные методы приводили к значениям $a_4 = a_5 = 0$ или к максимальной границе. При этом остановка оптимизации происходила по всем параметрам: достижение

предельной погрешности изменения функции, предельной погрешности изменения параметров и предельной погрешности ограничения. То есть алгоритмы на градиентных методах пытались увести в положительную сторону значения этих коэффициентов.

Метод нелинейных квадратов находил минимум в зоне со значениями коэффициентов близких порядку 10^{-7} . При этом остановка происходила из-за достижения заданной погрешности изменения функции. Кроме того, функция оптимизации при методе нелинейных квадратов получала значение на порядок меньше, чем при градиентных метода, что позволяет считать этот локальный минимум искомым.

Методы сканирования требовали значительно большего числа итераций и запусков модели, как и метод на основе суррогатного моделирования, и, соответственно, это иногда приводило к преждевременной остановке оптимизации без должного результата.

Таким образом, метод нелинейных квадратов при проведении численных оптимизационных экспериментов выдавал значения наилучшим образом удовлетворяющих установленным условиям: $a_1 = -3,3480$; $a_2 = 14,348$; $a_3 = -9,274 \cdot 10^{-7}$; $a_4 = -5,7557 \cdot 10^{-7}$; $a_5 = -5,175 \cdot 10^{-7}$.

Следует отметить, применение алгоритма простого поиска позволяет довести результаты работы других алгоритмов до локального минимума. Но так как для простого поиска не применяются ограничения возможен и выход за зону поиска. Для получения наиболее точного решения при оптимизации желательно использовать не один эксперимент и разные режимы работы двигателя трактора. Это обусловлено следующими моментами.

Во-первых, теория инженерного эксперимента и статистические методы показывают, что для определения n коэффициентов необходимо иметь n степеней свободы. А при наличии $n + 1$ степеней свободы появляется возможность оценить адекватность математической модели. В нашем слу-

чае выполняется оценка (определение) 4-х независимых коэффициентов при наличии начального значения $СН$. Для их однозначности необходимо иметь не менее 4-х точек. При отладке методологии поиска на основе параметрической идентификации модели использовались результаты эксперимента с известными значениями $СН$ нового моторного масла, при его замене и в средней части эксплуатации. Это только 3 точки.

Дополнение процесса оптимизации еще 1-м экспериментом с промежуточным и конечным значением $СН$ дало возможность однозначно определить значения коэффициентов уравнения, так как в этом случае количество экспериментальных данных превышает количество коэффициентов. На практике это позволяет уточнять в процессе эксплуатации параметры цифрового двойника при каждой замене моторного масла.

Во-вторых, трактор при выполнении полевых работ может достаточно быстро выработать количество моточасов, необходимых для замены моторного масла. При этом есть вероятность, что в эксплуатации он будет использовать преимущественно одни и те же режимы работы. Использование более широкого временного промежутка позволит учесть в модели весь спектр режимов работы и более точно оценить влияние таких факторов как частота вращения коленчатого вала и нагрузка.

Заключение. По результатам исследования была получена модель динамики изменения щелочного числа в дифференциальной форме, которая может быть использована для определения остаточного ресурса моторного масла с помощью цифрового двойника и предложена методика определения коэффициентов модели. Определены границы изменения этих коэффициентов и их порядок, что позволяет правильно определять локальные минимумы при оптимизации.

На основе проведения численных оптимизационных экспериментов удалось установить, что методом нелинейных квадратов удастся получить

значения коэффициентов уравнения наилучшим образом, соответствующих описанным условиям.

Таким образом, разработанная методика может быть применена при определении параметров модели цифрового двойника изменения состояния моторного масла. Методика может применяться для уточнения параметров, что обеспечивает возможность более точного прогнозирования остаточного ресурса масла. Кроме того, она может быть применена для разных моделей поршневых двигателей и марок моторных масел.

Библиографический список

1. Исследование процессов старения моторного масла при различных режимах работы двигателя / А. Ю. Шабанов, А. Б. Зайцев, А. А. Метелев, А. В. Винцаревич // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 64-68. – EDN UMTTFJ.
2. Остриков, В. В. Контроль работающих масел с помощью экспресс-методов оценки качества / В. В. Остриков, А. Ю. Корнев, И. В. Бусин // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3(13). – С. 174-177. – EDN UBOAUT.
3. Патент № 2484462 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/28, G01N 21/78, G01N 31/22. Способ определения щелочного числа моторных масел : № 2012123336/15 : заявл. 05.06.2012 : опубл. 10.06.2013 / В. В. Остриков, Н. Н. Тупотилов, А. Ю. Корнев [и др.] ; заявитель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии). – EDN KRNUJD.
4. Предпосылки применения цифрового двойника для определения предельного состояния моторного масла или прогнозирования его остаточного ресурса / А. В. Химченко, В. И. Оробинский, В. В. Остриков [и др.] // Наука в центральной России. – 2024. – № 3(69). – С. 148-160. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-3-148-160. – EDN DVWSLV.
5. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / под науч. ред. А.И. Боровкова. – М.: Альянсспринт, 2020. – 401 с.
6. Mc Donald, John E. Oil life monitor for diesel engines : пат. США № US 6,327,900 B1 / John E. Mc Donald, Ellen Shirley Schwartz, Nshan Hamparian, Michael Jacek, Joseph M. Stempnik, Scott John Fletcher ; патентообладатель General Motors Corporation. – № US 6,327,900 B1 ; заявл. 20.12.1999 ; опубл. 11.12.2001. – 9 с. : ил. – Текст : электронный // USPTO. – Загл. и текст патентообладателя на англ. яз. – Междунар. патент. классификация G01L 3/26, U.S. Cl. 73/117.3; 701/30.
7. Sawatari, Takeo. Automotive engine oil monitoring system : пат. США № US 4,677,847 / Takeo Sawatari, Mitsutaka Nakamura, Toshihiro Sugiura ; патентообладатель Aisin Seiki Kabushiki Kaisha. – № US 4,677,847 ; заявл. 30.09.1985 ; опубл. 07.07.1987 ; испр. 23.02.1988. – 12 с. : ил. – Текст : электронный // USPTO. – Загл. и текст патентообладателя на англ. яз. – Междунар. патент. классификация G01N 33/28, U.S. Cl. 73/64; 73/117.3

References

1. Issledovanie processov starenija motornogo masla pri razlichnyh rezhimah raboty dvigatelja / A. Ju. Shabanov, A. B. Zajcev, A. A. Metelev, A. V. Vincarevich // Trudy GOSNITI. – 2015. – T. 120. – S. 64-68. – EDN UMTTFJ.
2. Ostrikov, V. V. Kontrol' rabotajushhij masel s pomoshh'ju jekspress-metodov ocenki kachestva / V. V. Ostrikov, A. Ju. Kornev, I. V. Busin // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2015. – № 3(13). – S. 174-177. – EDN UBOAUT.
3. Patent № 2484462 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01N 33/28, G01N 21/78, G01N 31/22. Sposob opredelenija shhelochnogo chisla motornyh masel : № 2012123336/15 : zajavl. 05.06.2012 : opubl. 10.06.2013 / V. V. Ostrikov, N. N. Tupotilov, A. Ju. Kornev [i dr.] ; zajavitel' Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut ispol'zovanija tehniki i nefteproduktov Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk (GNU VNIITiN Rossel'hoz'akademii). – EDN KRNUJD.
4. Predposylki primenenija cifrovogo dvojnika dlja opredelenija predel'nogo sostojanija motornogo masla ili prognozirovaniya ego ostatochnogo resursa / A. V. Himchenko, V. I. Orobinskij, V. V. Ostrikov [i dr.] // Nauka v central'noj Rossii. – 2024. – № 3(69). – S. 148-160. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-3-148-160. – EDN DVWSLV.
5. Prohorov A., Lysachev M. Cifrovoj dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt / pod nauch. red. A.I. Borovkova. – M.: Al'jansprint, 2020. – 401 s.
6. Mc Donald, John E. Oil life monitor for diesel engines : pat. SShA № US 6,327,900 B1 / John E. Mc Donald, Ellen Shirley Schwartz, Nshan Hamparian, Michael Jacek, Joseph M. Stempnik, Scott John Fletcher ; patentoobladatel' General Motors Corporation. – № US 6,327,900 B1 ; zajavl. 20.12.1999 ; opubl. 11.12.2001. – 9 s. : il. – Tekst : jelektronnyj // USPTO. – Zagl. i tekst patentoobladatelja na angl. jaz. – Mezhdunar. patent. klassifikacija G01L 3/26, U.S. Cl. 73/117.3; 701/30.
7. Sawatari, Takeo. Automotive engine oil monitoring system : pat. SShA № US 4,677,847 / Takeo Sawatari, Mitsutaka Nakamura, Toshihiro Sugiura ; patentoobladatel' Aisin Seiki Kabushiki Kaisha. – № US 4,677,847 ; zajavl. 30.09.1985 ; opubl. 07.07.1987 ; ispr. 23.02.1988. – 12 s. : il. – Tekst : jelektronnyj // USPTO. – Zagl. i tekst patentoobladatelja na angl. jaz. – Mezhdunar. patent. klassifikacija G01N 33/28, U.S. Cl. 73/64; 73/117.3