

УДК 621.436.004.67

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

канд. техн. наук, доц. В.Г. АНДРУШ

(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)

Исследуется вопрос сокращения продолжительности обкатки двигателей после ремонта в зависимости от их исходного состояния. Представлена математическая модель, показывающая взаимосвязь мощности механических потерь двигателя в процессе обкатки с такими факторами, как мощность механических потерь в начале обкатки, температура масла и средняя скорость изменения мощности в процессе обкатки. Полученная формула позволяет определить необходимую продолжительность обкатки в зависимости от средней скорости изменения мощности механических потерь, мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла. Показан алгоритм селективного установления продолжительности режимов приработки, что позволяет сократить среднее время обкатки не менее чем на 15 % с экономией топливно-энергетических ресурсов по сравнению с рациональным режимом.

Введение. В сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь эксплуатируется около 95 тысяч дизельных двигателей, в том числе: на тракторах – 53, зерноуборочных комбайнах – 12, автомобилях – 20, кормоуборочных комбайнах и другой специальной технике – 10.

Количество отказов и неисправностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в структуре отказов для отдельных машин достигает 35...55 % [1]. Если учесть, что только РО «Белагросервис» ежегодно ремонтирует 12 тысяч двигателей (из них 8,6 тысяч – для тракторов и комбайнов) [2], а удельный вес отремонтированных машин достигает 70...80 % при моторесурсе, составляющем до 80 % от ресурса новых изделий, то по-прежнему остается актуальной задача повышения качества ремонта двигателей и снижения расхода топливно-энергетических ресурсов [3].

Большинство деталей поступают на восстановление, имея запас остаточной долговечности, использование которой составляет основной источник экономической эффективности ремонта машин.

Капитальный ремонт машины значительно дешевле приобретения новой. Отношение стоимости капитального ремонта машины к цене новой уменьшилось в последнее время с 30...40 до 20...28 %, а двигателей – с 40...60 до 22...30 %. Эти изменения вызваны ростом цен на новую технику и снижением стоимости ремонта, что позволяет экономить около 50 млрд. руб. в сравнении с закупкой такого же количества новых двигателей [2]. Доходы от работ по капитальному ремонту и модернизации дизельных двигателей позволили руководству компании «Caterpillar» создать новое отделение, ежегодная выручка от которого достигла 1 млрд. долларов [4].

Обкатка – важнейшая завершающая технологическая операция ремонта автотракторного двигателя. Цель обкатки не только в подготовке поверхностей трения к восприятию эксплуатационных нагрузок, но и в выявлении и устранении дефектов деталей, и регулировки некоторых соединений.

За счет проведения высококачественной обкатки на ремонтном предприятии межремонтный срок службы двигателя увеличивается на 8...36 %. В то же время проведение обкатки требует значительных трудозатрат и расхода горючесмазочных материалов, поэтому необходимо проводить исследования по сокращению времени обкатки двигателей без снижения качества приработки трущихся поверхностей [5; 6].

Основная часть. За показатель качества приработки двигателя принимается количественная мера, характеризующая степень близости его технического состояния к состоянию «полностью приработанного двигателя», т.е. двигателя с незначительной наработкой, основные параметры которого (мощность механических потерь, удельный расход топлива, расход масла на угар и др.) стабилизировались и при эксплуатации не будут изменяться в сторону улучшения.

Для объективной оценки качества приработки важно правильно выбрать базовые значения соответствующих параметров. Наиболее просто и точно этот вопрос решается при наличии достаточного количества экспериментальных данных о значениях соответствующих параметров для полностью приработанных двигателей. В этом случае в качестве базового значения принимаются модальные значения параметров в имеющейся выборке, предварительно проверив однородность этих данных с помощью статистических критериев.

Следует отметить, что автотракторные дизели после ремонта имеют значительный разброс параметров, поэтому и время их обкатки будет неодинаковым.

Существующие режимы обкатки рассчитаны на двигатель после ремонта с усредненными выходными параметрами, без учета индивидуальных показателей.

Однако, как показывает практика, некоторые двигатели достигают состояния обкатанных за более короткое время, а отдельные, с большой мощностью механических потерь в начале обкатки, не успевают приработаться, перегреваются и даже выходят из строя – заклинивают.

Индивидуализация обкатки позволяет определить время окончания приработки соединений двигателей и своевременно перейти на очередную стадию и закончить обкатку.

В качестве информационного параметра приработанности трущихся поверхностей деталей обкатываемого двигателя выбрана мощность механических потерь, которая определяется с использованием показаний весового механизма обкаточного стенда методом прокручивания коленчатого вала от электродвигателя [7].

Для упрощения алгоритма и устройства управления обкаткой мощность механических потерь можно определять на фиксированной частоте вращения.

Исследования показали, что на мощность механических потерь в процессе обкатки, кроме частоты вращения, наибольшее влияние оказывают мощность механических потерь в начальный момент обкатки, температура масла и средняя скорость изменения мощности механических потерь [6]. Поэтому была поставлена задача получения уравнения, описывающего изменение мощности механических потерь $N_{мн}$ в процессе обкатки в зависимости от времени обкатки τ , мощности механических потерь в начальный момент обкатки $N_{мн0}$, температуры масла T_m и средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} в процессе обкатки.

В условиях Минского авторемонтного завода на обкаточном стенде исследованы закономерности изменения параметров дизелей ЯМЗ-236М в процессе обкатки по четырем известным режимам продолжительностью 95, 110, 125 и 180 минут.

Проведенные исследования [8, с. 144] показали, что для двигателей, прошедших обкатку по различным технологиям, изменяется скорость изменения параметров, а характер их взаимосвязи в процессе обкатки остается практически постоянным.

Различные режимы обкатки двигателей внутреннего сгорания характеризуются средней скоростью \bar{v} (Вт/мин) изменения мощности механических потерь в процессе обкатки, которую можно определить по формуле:

$$\bar{v} = \frac{(N_{мн0} - N_{мнк}) \cdot 10^3}{\tau}, \quad (1)$$

где $N_{мн0}$ – мощность механических потерь в начале обкатки, кВт; $N_{мнк}$ – мощность механических потерь в конце обкатки, кВт; $\tau_{об}$ – время обкатки, мин.

Найдем скорости изменения режимов обкатки v_n^* на каждом из временных интервалов $[\tau_n, \tau_{n+1}]$ ($n = 0, 1, 2, \dots$):

$$v_n^* = \frac{(N_{мнn} - N_{мнn+1}) \cdot 10^3}{\tau_{n+1} - \tau_n}, \quad (2)$$

где τ_n, τ_{n+1} – границы временных промежутков, мин; $N_{мнn}, N_{мнn+1}$ – мощность механических потерь в соответствующих точках, кВт.

Так как значение мощности механических потерь через вязкость зависит от температуры масла в процессе обкатки, которая, в свою очередь, зависит от температуры в начале обкатки, введем новую переменную T , равную разности между текущим и начальным значениями температуры масла.

$$T = T_m - T_{м0},$$

где $T_{м0}$ – температура масла в начале обкатки, °С.

Среднее значение v^* для исследуемых режимов за весь промежуток обкатки равно $\bar{v} = 17; 21; 25; 28$ (Вт/мин).

Для каждого из четырех режимов построим интерполяционную формулу зависимости мощности механических потерь от начальной мощности $N_{мн0}$, времени τ , разности температур масла T и средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} .

Поскольку переменная \bar{v} принимает четыре значения, соответствующие четырем сравниваемым режимам обкатки, то, рассматривая ее как функцию переменных τ, T_m и $N_{мн}$, построим поверхности уровня этой функции, соответствующие четырем заданным значениям: $\bar{v} = 17, \bar{v} = 21, \bar{v} = 25, \bar{v} = 28$ Вт/мин.

Линейную интерполяцию функции N_{mn} как функции двух переменных τ и T_m (при фиксированном \bar{v}) проводим по формуле, аналогичной формуле [9, с. 59] для функции вида $z = f(x, y)$:

$$z = \frac{\Delta_0 - \Delta_1 x - \Delta_2 y}{\Delta_3}, \tag{3}$$

где $\Delta_0 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$; $\Delta_1 = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$; $\Delta_2 = \begin{vmatrix} x_1 & 1 & z_1 \\ x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \end{vmatrix}$, $\Delta_3 = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$; $(x_\kappa, y_\kappa, z_\kappa)$, $\kappa = 1; 2; 3$ – координаты узлов интерполирования.

В результате мы получили четыре цепочки плоскостей [6].

Рассматривая функцию $x_n = f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ ($n-1$) переменных, можно аналогично получить интерполяционную формулу:

$$u = \frac{\Delta_0 - x_1 \Delta_1 - x_2 \Delta_2 - \dots - x_{n-1} \Delta_{n-1}}{\Delta_n}, \tag{4}$$

где $\Delta_0 = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix}$; $(x_{\kappa 1}, x_{\kappa 2}, \dots, x_{\kappa n})$, $\kappa = 1, \dots, n$ – координаты узлов интерполирования, а определители Δ_κ ($\kappa = 1, \dots, n-1$)

получаются из Δ_0 путем замены κ -го столбца столбцом из единиц. При выводе этой формулы используется метод математической индукции.

Получаем четыре интерполяционные формулы, описывающие мощность механических потерь $N_{mn}^{(1)}$, $N_{mn}^{(2)}$, $N_{mn}^{(3)}$, $N_{mn}^{(4)}$ для каждого из четырех режимов:

$$\begin{aligned} N_{mn}^{(1)} &= N_{mn0} \cdot (1,07 - 0,0028 \cdot \tau + 0,0027 \cdot T - 0,0041 \cdot \bar{v}^*), \\ N_{mn}^{(2)} &= N_{mn0} \cdot (1,10 - 0,0058 \cdot \tau + 0,0089 \cdot T - 0,0048 \cdot \bar{v}^*), \\ N_{mn}^{(3)} &= N_{mn0} \cdot (1,04 - 0,0020 \cdot \tau - 0,0020 \cdot T - 0,0007 \cdot \bar{v}^*), \\ N_{mn}^{(4)} &= N_{mn0} \cdot (1,03 + 0,0020 \cdot \tau - 0,0100 \cdot T - 0,0009 \cdot \bar{v}^*). \end{aligned} \tag{5}$$

Поскольку в процессе обкатки скорость изменения режимов является кусочно-постоянной, то формулы (5) можно использовать для определения мощности механических потерь в процессе обкатки в любой момент времени, при этом скорость \bar{v} берем равной средней скорости изменения мощности механических потерь на соответствующем временном промежутке (формула (2)).

Кроме этого, формулы (5) мы можем использовать для выбора наиболее подходящего режима обкатки из данных четырех режимов.

Выведем универсальную для всех четырех режимов интерполяционную формулу, описывающую зависимость изменения мощности механических потерь N_{mn} от времени τ , температуры масла $T = T_m - T_{m0}$, средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} и мощности механических потерь в начале обкатки N_{mn0} .

Выбирая в качестве узлов интерполирования соответствующие экспериментальные данные и используя формулу (4), получим интерполяционную формулу:

$$N_{mn} = 0,452 \cdot N_{mn0} - 0,008 \cdot \tau - 0,015 \cdot T - 0,019 \cdot \bar{v} + 4,618. \tag{6}$$

Эта формула является универсальной для всех режимов обкатки при $\tau > 40$ мин.

Проверка точности описания уравнением (6) экспериментальных данных проводилась подстановкой в данное уравнение координат промежуточных точек для получения расчетных значений N_{mn} .

Сравнение показало, что рассчитанные значения мощности механических потерь отличались от экспериментальных результатов менее чем на 5 %.

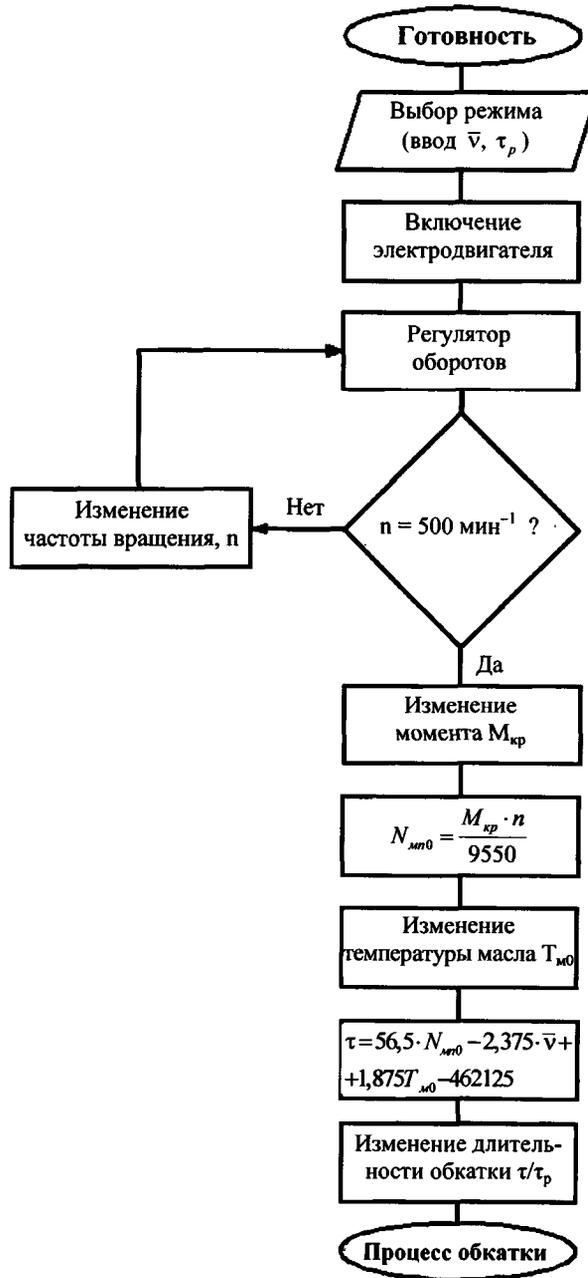
Выразим из формулы (6) переменную τ – время обкатки (мин):

$$\tau = 56,5 \cdot N_{mn0} - 1,875 \cdot T - 2,375 \cdot \bar{v} + 577,25 - 125 \cdot N_{mn}. \tag{7}$$

Учитывая, что в конце обкатки двигателя достигают состояния обкатанных: $T_m = 99 \pm 1$ °С; $N_{мп} = N_{мп об} = 6,83$ кВт, получим формулу определения длительности обкатки для достижения требуемого качества приработки деталей в зависимости от средней скорости изменения мощности механических потерь (выбранного режима обкатки, рационального для данного производства), мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла:

$$\tau = 56,5 \cdot N_{мп0} - 2,375 \cdot \bar{v} + 1,875 \cdot T_{м0} - 462,125. \quad (8)$$

Алгоритм селективного установления продолжительности режимов обкатки приработки приведен на рисунке.



Алгоритм селективного установления продолжительности режимов приработки

Для наиболее рационального режима продолжительностью 95 минут

$$\tau = 56,5 \cdot N_{мп0} + 1,875 \cdot T_{м0} - 528,625. \quad (9)$$

Заключение. Используя формулу (9) можно определить время, необходимое для обкатки двигателей по наиболее рациональному режиму с продолжительностью приработки 95 мин ($\bar{v} = 28$ Вт/мин).

Для двигателей с малым значением мощности механических потерь в начале обкатки все этапы приработки могут быть значительно сокращены.

Для двигателей с большим значением мощности механических потерь в начале обкатки все этапы приработки нужно удлинить на рассчитанную величину, иначе трущиеся поверхности его деталей окажутся недостаточно приработанными.

Назначая продолжительность приработки для каждого двигателя по предложенному алгоритму, среднее время обкатки можно сократить не менее чем на 15 % по сравнению с рациональным режимом.

Аналогично, используя формулу (5) или (6), можем определить по начальной мощности механических потерь и температуре масла необходимую продолжительность обкатки и для других более длительных режимов с $\bar{v} < 28$ Вт/мин, при этом сокращение длительности будет более чем на 30 %.

Чистый дисконтированный доход при ремонте 771 двигателя ЯМЗ-236М составляет 3 673 000 рублей, срок возврата капитальных вложений 2,3 года при годовой экономии 2,2 тонны дизтоплива и 13 955 кВт·ч электроэнергии, годовом экологическом эффекте 159 тысяч рублей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей / Н.А. Коваленко, В.П. Лобах, Н.В. Вепринцев. – Минск: Новое знание, 2008. – 352 с.
2. Лабушев, Н.А. В Новый год с надежным партнером / Н.А. Лабушев // Белорусское сельское хозяйство. – 2007. – № 12. – С. 22 – 24.
3. Соловьев, Р.Ю. Современная концепция обслуживания и ремонта машин / Р.Ю. Соловьев, В.М. Михлин, А.В. Колчин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 12 – 15.
4. Модернизация изношенных двигателей фирмы «Caterpillar» // Техника и оборудование для села. – 2007. – № 2. – С. 39.
5. Стрельцов, В.В. Ресурсосберегающая ускоренная обкатка отремонтированных двигателей / В.В. Стрельцов, В.Н. Попов, В.Ф. Карпенков. – М.: Колос, 1995. – 175 с.
6. Исследование мощности механических потерь в зависимости от времени, температуры масла и скорости изменения режимов обкатки / Л.И. Бурганская [и др.] // Агропанорама. – 2006. – № 1. – С. 27 – 31.
7. Батхан, Л.З. О динамике холодной обкатки дизелей Д-240 / Л.З. Батхан // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. – Минск: Ураджай, 1986. – Вып. 28. – С. 108 – 113.
8. Трубилов, А.К. Безразборная оценка послеремонтного ресурса автотракторных дизелей по комплексному критерию качества в период 60-часовой стендовой обкатки: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.К. Трубилов. – Минск, 1999. – 206 л.
9. Турчак, Л.И. Основы численных методов / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. – М.: Физматлит, 2002. – 374 с.

Поступила 05.01.2011

RESOURCE SAVING UNDER DETERMINATION OF ENGINE RUN-IN DURATION

V. ANDRUSH

The issue of duration reduction of engines run-in after restoration in the dependence on their initial condition is under study. The mathematical model, demonstrating interrelation of friction horsepower of the engine in the course of run-in with such factors, as friction horsepower in the beginning of the run-in, oil temperature and average velocity of power change in the course of run-in, is demonstrated. The received formula enables to define necessary run-in duration depending on the average velocity of power change of mechanical losses, friction horsepower in the beginning run-in and oil temperature. The algorithm of selective determination of duration mode of artificial aging, which enables to reduce an average run-in time no less than on 15 % with economy of fuel and power resources as compared to rational mode is shown.