

УДК 621.436

М. А. ПРИЩЕПОВ, В. Г. АНДРУШ

СТЕНДОВАЯ ОБКАТКА АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ЗАДАНИЕМ ЕЕ РЕЖИМОВ ПО МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступила в редакцию 05.04.2011)

Количество отказов и неисправностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в общей структуре отказов для отдельных машин достигает 35–55% [1, с. 39]. Если учесть, что только РО «Белагросервис» ежегодно ремонтирует 12 тыс. двигателей (из них 8,6 тыс. для тракторов и комбайнов) [2], а удельный вес отремонтированных машин достигает 70–80% при моторесурсе, составляющем до 80% от ресурса новых, то по-прежнему остается актуальной задача повышения качества ремонта двигателей и снижения расхода топливно-энергетических ресурсов [3]. Большинство деталей поступает на восстановление, имея значительный остаточный ресурс срока службы, использование которого 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 обусловлены ростом цен на новую технику и снижением стоимости ремонта, что позволяет экономить по республике около 50 млрд руб. по сравнению 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 подготовка поверхностей трения к восприятию эксплуатационных нагрузок, но и выявление и устранение дефектов деталей, сборки и регулировки сопряжений. За счет проведения высококачественной обкатки на ремонтном предприятии межремонтный срок службы двигателя увеличивается на 8–36% [6].

При производстве и особенно ремонте ДВС действуют факторы неидентичности технологии изготовления, сборки и регулировки. Все это формирует так называемые индивидуальные особенности двигателей и является причиной того, что даже у конструктивно одинаковых образцов при работе имеет место значительный разброс их параметров. Поэтому механический перенос режимов обкатки, успешно используемых для одних двигателей, не всегда может обеспечить такой же результат для других. Следовательно, дальнейшие исследования стендовой обкатки ДВС с разработкой методики и технических средств задания ее режимов в зависимости от исходного состояния обкатываемого двигателя является актуальной задачей, решение которой позволит сократить среднюю продолжительность приработки деталей, сэкономить топливно-энергетические ресурсы.

Материалы и методы исследования. За показатель качества приработки деталей 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.) практически стабилизировались и при эксплуатации не будут значительно 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.

Как отмечено выше, автотракторные дизели после ремонта имеют значительный разброс параметров, поэтому и время приработки двигателей будет неодинаковым. Нормируемые режимы рассчитаны на двигатель с усредненными выходными параметрами, без учета индивидуальных показателей. 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 при обкатке и даже выходят из строя (заклинивают).

Индивидуализация обкатки путем задания ее режимов позволяет определить время окончания приработки двигателей, своевременно перейти на очередной этап и закончить обкатку.

В качестве информационного параметра приработанности трущихся поверхностей деталей обкатываемого двигателя выбрана мощность механических потерь, которая определяется по показанию весового механизма обкаточного стенда методом прокручивания коленчатого вала от электро-двигателя [7].

Исследования показали, что на мощность механических потерь при обкатке кроме частоты вращения наибольшее влияние оказывают мощность механических потерь в начале обкатки, температура масла и средняя скорость изменения мощности механических потерь [6].

Поэтому была поставлена задача – получить уравнение, описывающее изменение мощности механических потерь $N_{мп}$ в процессе обкатки в зависимости от времени обкатки t , мощности механических потерь в начале обкатки $N_{мп0}$, температуры масла T_m и средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} в процессе обкатки.

Результаты и их обсуждение. 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 мин.

Проведенные исследования [8, с. 144] показали, что для двигателей, прошедших обкатку на различных режимах, варьируется 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. Для исследуемых режимов за весь промежуток обкатки $\bar{v} = 17; 21; 25; 28$ (Вт/мин).

Для каждого из четырех режимов построим интерполяционную формулу зависимости мощности механических потерь от мощности механических потерь в начале обкатки $N_{мп0}$, времени t , средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} и температуры масла T , которую, в свою очередь, определяли как разность между текущим значением температуры масла T_m и значением температуры масла в начале обкатки $T_{м0}$.

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

Линейную интерполяцию функции $N_{мп}$ как функции двух переменных t и T (при фиксированном \bar{v}) проводим по формуле, аналогичной формуле [9, с. 59]

В результате мы получили четыре цепочки плоскостей [6].

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

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

$$\text{где } \Delta_0 = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{vmatrix},$$

$(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$, $k = 1, \dots, n$ – координаты узлов интерполирования, а определители Δ_k ($k = 1, \dots, n-1$) получаются из Δ_0 путем замены k -го столбца столбцом из единиц. При выводе этой формулы использовали метод математической индукции.

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

$$\begin{aligned} N_{\text{мп}}^{(1)} &= N_{\text{мп}0}(1,07 - 0,0028t + 0,0027T - 0,0041v^*), \\ N_{\text{мп}}^{(2)} &= N_{\text{мп}0}(1,10 - 0,0058t + 0,0089T - 0,0048v^*), \\ N_{\text{мп}}^{(3)} &= N_{\text{мп}0}(1,04 - 0,0020t - 0,0020T - 0,0007v^*), \\ N_{\text{мп}}^{(4)} &= N_{\text{мп}0}(1,03 + 0,0020t - 0,0100T - 0,0009v^*). \end{aligned} \quad (2)$$

Поскольку в процессе обкатки скорость изменения режимов является кусочно-постоянной, то формулы (2) 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 v^* . Кроме этого, формулы (2) мы можем использовать для выбора наиболее подходящего из данных четырех режимов обкатки.

Однако формулы (2) не позволяют непосредственно назначить режимы, в конце которых мощность механических потерь достигает значения, соответствующего области обкатанных. Двигатель может оказаться как недообкатанным, так и переобкатанным, поэтому важно определить необходимое время обкатки.

Выведем универсальную для всех четырех режимов интерполяционную формулу, описывающую зависимость изменения мощности механических потерь $N_{\text{мп}}$ от времени t , температуры масла T , средней скорости изменения мощности механических потерь \bar{v} и мощности механических потерь в начале обкатки $N_{\text{мп}0}$.

Выбирая в качестве узлов интерполирования соответствующие точки и используя выражение (1), получим интерполяционную формулу:

$$N_{\text{мп}} = 0,452N_{\text{мп}0} - 0,008t - 0,015T - 0,019\bar{v} + 4,618. \quad (3)$$

Эта формула является универсальной для всех режимов обкатки.

Выразим из формулы (3) переменную t – время обкатки, мин:

$$t = 56,5N_{\text{мп}0} - 1,875T - 2,375\bar{v} + 577,25 - 125N_{\text{мп}}. \quad (4)$$

Учитывая, что $T = T_{\text{м}} - T_{\text{м}0}$, а в конце обкатки двигателя, соответствующие области обкатанных, имеют значение $T_{\text{м}} = 99 \pm 1$ °С и $N_{\text{мп}} = 6,83$ кВт, получим формулу для определения необходимой длительности обкатки до достижения требуемого качества приработанности деталей, соответствующим обкатанным, в зависимости от средней скорости изменения мощности меха-

нических потерь (выбранного режима обкатки, рационального для данного производства), мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла:

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

Алгоритм задания продолжительности приработки приведен на рис. 1.

Для наиболее рационального режима с $\bar{v} = 28$ Вт/мин время приработки составит:

$$t = 56,5N_{мп0} + 1,875T_{м0} - 528,625. \quad (6)$$

Задавая 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 (2) или (4), определяем 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 длительность обкатки будет сокращена более чем на 30%.

Применение в процессе обкатки системы автоматического регулирования по частоте вращения и нагрузочному моменту обеспечивает увеличение межремонтного пробега на 3%, а при автоматическом регулировании и рациональном режиме – на 4,8% [10, с. 131].

Учитывая сложность технологического процесса, особенно проведения обкатки с учетом индивидуальных особенностей ДВС, нами было разработано устройство автоматического задания продолжительности и проведения приработки.

Эта схема позволяет реализовать алгоритм выбора необходимой продолжительности обкатки, т. е. задавать и поддерживать продолжительность этапов приработки в зависимости от температуры масла, средней скорости изменения мощности механических потерь, мощности механических потерь в момент измерения и автоматизировать процесс обкатки.

Блок-схема разработанного устройства управления обкаточным стендом, представлена на рис. 2.

Если частота вращения обкатываемого двигателя 2 превышает установленное значение, то сигнал (напряжение) на выходе первого вычитающего элемента 7 вызывает перемещение штока исполнительного механизма 5 и рычага топливодозировочного органа двигателя 2 на уменьшение частоты вращения. Если частота вращения становится меньше установленного значения, то все процессы происходят в обратном направлении.

Аналогично работает контур управления тормозной мощностью по нагрузочному моменту. На втором вычитающем элементе 8 сравнивается сигнал задатчика 10 нагрузочного момента и датчика 4 нагрузочного момента. Сигнал с выхода второго вычитающего элемента 8 через первый вход переключателя 11 поступает на исполнительный механизм 6 нагрузоч-



Рис. 1. Алгоритм задания продолжительности приработки

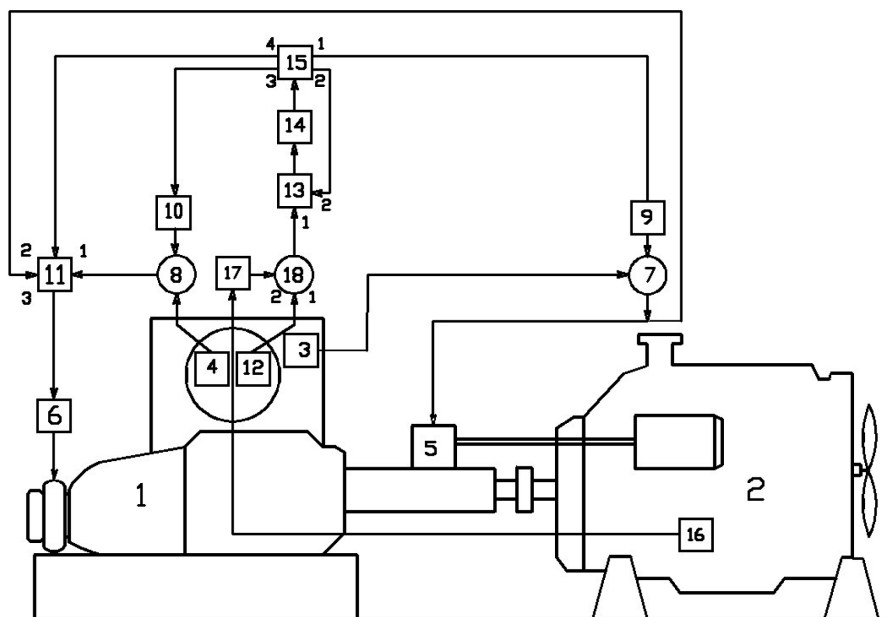


Рис. 2. Блок-схема устройства управления стенда для обкатки двигателя внутреннего сгорания: 1 – нагрузочное устройство; 2 – обкатываемый двигатель; 3 – датчик частоты вращения; 4 – датчик нагрузочного момента; 5 – исполнительный механизм частоты вращения; 6 – исполнительный механизм нагрузочного устройства; 7 – первый вычитающий элемент; 8 – второй вычитающий элемент; 9 – задатчик частоты вращения; 10 – задатчик нагрузочного момента; 11 – переключатель; 12 – датчик момента сопротивления прокручиванию; 13 – устройство опроса; 14 – блок назначения длительности приработки; 15 – блок управления; 16 – датчик температуры; 17 – линеаризатор; 18 – третий вычитающий элемент

ного устройства, изменяя сопротивление или противо-ЭДС в цепи фазного ротора, заставляет нагрузочное устройство (электродвигатель) 1, работающее в режиме динамического торможения, изменять величину тормозной мощности (нагрузочного момента).

Информационным параметром хода приработки является величина мощности механических потерь, которая, в свою очередь, определяется по показанию датчика 12 момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала на весовом механизме стенда на фиксированной частоте вращения.

Измерение производится на фиксированной частоте вращения с тем расчетом, чтобы каждый раз не учитывать влияние частоты вращения коленчатого вала на мощность механических потерь. Этим уменьшаем число влияющих факторов, объем исследовательских работ и упрощаем алгоритм управления.

Но, как показано выше, в процессе обкатки мощность механических потерь существенно зависит от начальной мощности механических потерь, температуры масла обкатываемого двигателя, продолжительности обкатки и средней скорости изменения мощность механических потерь.

Для того чтобы реализовать алгоритм задания продолжительности приработки, сократив общее ее время, датчиком 12 измеряют момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала на фиксированной частоте вращения обкатываемого двигателя и датчиком 16 температуру масла обкатываемого двигателя, вычисляют на линеаризаторе 17 мощность механических потерь при данной температуре. Затем на третьем вычитающем элементе 18 сравнивают мощность механических потерь обкатываемого двигателя с мощностью механических потерь, соответствующей обкатанным.

Сигнал, равный разности между величиной мощности механических потерь обкатываемого двигателя при данной температуре и величиной мощности механических потерь обкатанного двигателя с учетом выбранного рационального значения средней скорости изменения мощности механических потерь с выхода третьего вычитающего элемента 18 поступает на вход устройства 13 опроса, на котором запоминается. В зависимости от величины этого сигнала блоком 14 назначается продолжительность приработки: чем меньше эта разность и выше средняя скорость измене-

ния мощности механических потерь, тем меньше время, необходимое для приработки обкатываемого двигателя.

Чистый дисконтированный доход при программе ремонта 771 двигатель ЯМЗ-236М составляет 3673 тыс. руб., срок возврата капитальных вложений – 2,3 года при годовой экономии 2,2 т дизтоплива и 13955 кВт·ч электроэнергии, годовом экологическом эффекте 159 тыс. руб.

Выводы

Получена формула определения необходимой продолжительности приработки в зависимости от средней скорости изменения мощности механических потерь, мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла, разработаны алгоритм и устройство задания продолжительности приработки, что позволяет сократить среднее время обкатки не менее чем на 15% с экономией топливно-энергетических ресурсов по сравнению с рациональным режимом.

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: межвед. тематич. сб. – Минск, 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.
10. Дюмин, И. Е. Повышение эффективности автомобильных двигателей / И. Е. Дюмин. – М.: Транспорт, 1987. – 176 с.

M. A. PRISHCHEPOV, V. G. ANDRUSH

RUNNING OF AUTOMOTIVE DIESELS WITH THE MODES ACCORDING TO THE POWER OF MECHANICAL LOSSES

Summary

On the basis of the experimental research the formula to calculate the necessary duration of running depending on the average speed of changes of mechanical losses power, mechanical losses power at the beginning of running, and oil temperature is received. The obtained algorithm and device for the duration of running has been developed. All this allows to reduce the average duration of running not less than by 15% and save fuel-energy resources in comparison with the rational mode.