

УДК 621.432.3:629.083

ЩУКИНА ВАРВАРА НИКОЛАЕВНА, аспирант

E-mail: firstnotbarbara@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДЛЯ ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Существует множество методов определения мощности механических потерь в двигателе внутреннего сгорания (ДВС): прокручивание коленчатого вала ДВС; последовательное отключение цилиндров ДВС; экстраполяция нагрузочной характеристики; индицирование давления в цилиндрах ДВС; метод выбега; измерение расхода топлива на холостом ходу. При анализе и сравнении методов определения механических потерь установлено, что каждый из способов – достаточно трудоемкий процесс, требующий времени и специального оборудования. Эти методы применимы при стендовых испытаниях, а их использование в процессе эксплуатации автомобиля проблематично. Однако можно выделить три метода: метод индицирования, метод выбега и метод определения механических потерь по измерению расхода топлива. Установлено, что эти методы можно применять в процессе эксплуатации, но каждый из методов по отдельности имеет ряд недостатков. Поэтому для использования диагностики механических потерь в процессе эксплуатации необходимо применять комбинацию минимум из двух методов.

Ключевые слова: механические потери, метод выбега, измерение расхода топлива, метод индицирования.

Введение. Механическая энергия, получаемая поршнями ДВС от давления газов, передается потребителю неполностью. Часть энергии расходуется на обеспечение работоспособности двигателя, что приводит к ухудшению эффективных показателей. Затраты энергии на обеспечение работы ДВС называются механическими потерями (трение, приведение в действие вспомогательных механизмов и газообмен).

Цель исследований – выявление методов определения мощности механических потерь в ДВС для их последующего применения в процессе эксплуатации автомобиля.

На установившемся режиме работы двигателя справедливо соотношение (формула 1) между индикаторной мощностью N_i , эффективной мощностью N_e и мощностью механических потерь N_m

$$N_i = N_e + N_m, \text{ Вт.} \quad (1)$$

При работе двигателя на установившемся режиме без нагрузки (например, при выключенном сцеплении) вся индикаторная работа затрачивается на механические потери [1–4]:

$$N_i \equiv N_m. \quad (2)$$

Контроль уровня механических потерь в двигателе позволит комплексно оценить состояние узлов трения, работу вспомогательных механизмов двигателя и элементов газообмена [5].

Материалы и методы. В качестве методов определения мощности механических потерь в ДВС рассмотрены прокручивание коленчатого вала ДВС; последовательное отключение цилиндров ДВС; экстраполяция нагрузочной характеристики; индицирование давления в цилиндрах ДВС; метод выбега; по расходу топлива на холостом ходу [6–10].

1. Метод прокручивания коленчатого вала ДВС. Суть метода заключается в том, что коленчатый вал двигателя прокручивается при помощи электродвигателя. Величина механических потерь определяется мощностью затрачиваемой на прокручивание коленчатого вала ДВС:

$$N_m = \frac{M_c \cdot n}{9550}, \quad (3)$$

где M_c – измеренный момент сопротивления коленчатого вала ДВС; n – частота вращения коленчатого вала.

Преимущества: метод не требует сложных расчетов. Недостатки: необходимость установки двигателя на стенд; работа нагрузочного устройства в режиме электродвигателя, что не всегда возможно; отсутствие рабочих циклов: тепловой режим, нагрузка на детали и режим работы вспомогательных агрегатов не соответствуют действительным значениям, отсутствует газообмен и т.д.

2. Метод последовательного отключения цилиндров. Суть метода заключается в определении

механических потерь как разницы суммы индикаторных мощностей всех цилиндров и эффективной мощности снимаемой с ДВС при одинаковой частоте вращения:

$$\begin{aligned}
 0. N_i &= N_1 + N_2 + N_3 + \dots & 1. N_{e-1} &= N_{i-1} - N_m \\
 1. N_{i-1} &= 0 + N_2 + N_3 + \dots & \Delta N_{e1} &= N_e - N_{e-1} = N_1 \\
 2. N_{i-2} &= N_1 + 0 + N_3 + \dots & 2. N_{e-2} &= N_{i-2} - N_m \\
 3. \dots & & \Delta N_{e2} &= N_2 \\
 0. N_e &= N_i - N_m
 \end{aligned}$$

Величина снижения мощности ДВС при отключении i -го цилиндра равна индикаторной мощности отключаемого цилиндра. Поэтому можно записать равенство $N_i = \Delta N_{e1} + \Delta N_{e2} + \Delta N_{e3} + \dots$, определяющее индикаторную мощность ДВС, с помощью которой можно рассчитать мощность механических потерь по формуле 1.

Преимущества: метод не требует сложных расчетов. Недостатки: достаточно трудоемкий и долгий процесс, необходимо отключать цилиндры, что влияет на работу двигателя, либо вмешательство в систему питания двигателя, или необходима установка специального устройства, что требует дополнительных трудозатрат и увеличивает время проведения испытаний. Работа двигателя подразумевается под управляемой нагрузкой, что возможно только в стендовых условиях.

3. Метод индцирования давления в цилиндрах ДВС. Суть метода заключается в определении механических потерь как разницы суммы индикаторных мощностей всех цилиндров и эффективной мощности, снимаемой с ДВС.

Измеряется индикаторное давление каждого цилиндра (формула 4), определяется индикаторная мощность двигателя, и, определив эффективную мощность, находим мощность механических потерь (рис. 1):

$$N_i = \frac{V_h \cdot n}{30 \tau} \sum p_i \quad (4)$$

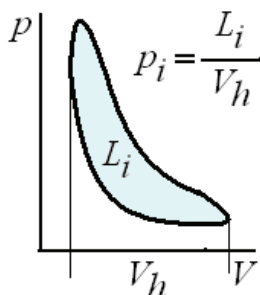


Рис. 1. Определение индикаторного давления: p_i – среднее индикаторное давление в цилиндре ДВС; L_i – работа цикла

Преимущества: достаточно высокий уровень достоверности получаемых значений. Метод можно применять в процессе эксплуатации. Недостатки:

к недостаткам можно отнести применение дорогостоящей специальной аппаратуры и конструктивного изменения головки цилиндров для установки датчиков, что невозможно для серийного двигателя. Этот метод обычно применяется для исследовательских целей.

4. Метод выбега. Суть метода заключается в определении механических потерь N_m по интенсивности замедления частоты вращения при отключении подачи топлива (или зажигания) (рис. 2).

$$N_m = -\omega J \frac{d\omega}{dt} \quad (5)$$

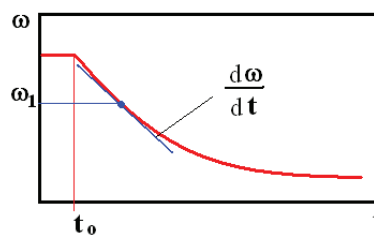


Рис. 2. Зависимость частоты вращения от момента отключения подачи топлива: J – момент инерции вращающихся масс; t_0 – момент отключения подачи топлива; ω_1 – частота вращения, для которой определяются механические потери

Преимущества: достаточно простой метод, не требующий установки на стенд. Метод можно применять в процессе эксплуатации. Недостатки: необходимо знать момент инерции двигателя и нагружающего устройства. Для реализации метода требуется измерение мгновенной частоты вращения. Может возникнуть сложность с отключением зажигания (подачи топлива).

5. Метод экстраполяции нагрузочной характеристики (для дизелей). Метод экстраполяции нагрузочной характеристики основан на графическом определении N_m по нагрузочной характеристике дизеля. Считается, что при частичных нагрузках двигателя (на малых значениях вырабатываемой мощности) индикаторный КПД имеет постоянное значение $\eta_i = \text{const}$. В этом случае часовой расход топлива прямо пропорционален вырабатываемой индикаторной мощности, и при экстраполяции линии часового расхода до пересечения с осью абсцисс величина получаемого отрезка от точки пересечения до начала координат равна мощности механических потерь:

$$G_T = A N_i = A(N_e + N_m), \quad (6)$$

где A – точка пересечения с осью абсцисс; N_e – эффективная мощность; G_T – расход топлива; N_i – индикаторная мощность; N_m – мощность механических потерь.

На режиме холостого хода $N_e = 0$ и $G_T = A N_m$ (рис. 3).

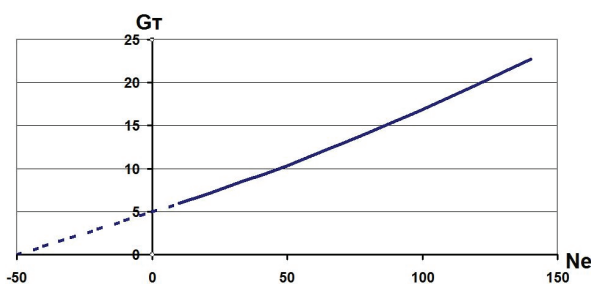


Рис. 3. Экстраполяция нагрузочной характеристики

Преимущества: метод не требует специального оборудования. Недостатки: метод применим только для дизелей. Ещё к недостаткам можно отнести низкую точность измерений, а также необходимость построения графической зависимости расхода топлива от мощности, что требует специальной программы испытания. Результат измерений известен только после построения характеристики, а это еще дополнительные затраты времени, что не позволяет оперативно определить уровень механических потерь двигателя.

6. *Измерение расхода топлива на холостом ходу.* Суть метода заключается в измерении расхода топлива на холостом ходу. При постоянной частоте вращения и работе на установившемся режиме расход топлива зависит от изменения механических потерь и индикаторного КПД:

$$G_T = \frac{N_i}{i \cdot V_h \frac{Q_H}{30\tau} \cdot \frac{\eta_v}{G_g} \cdot \eta_i \cdot \rho_k \cdot n}, \quad (7)$$

где Q_H – теплотворная способность топлива, кДж/кг; n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹; τ – тактность двигателя; η_i – индикаторный КПД; η_v – коэффициент наполнения; V_h – объем цилиндра, м³; i – число цилиндров; ρ_k – плотность поступившего воздуха, кг/м³; G_g – часовой расход воздуха.

Для холостого хода справедливо выражение

$$G_T = \frac{N_M}{i \cdot V_h \frac{Q_H}{30\tau} \cdot \frac{\eta_v}{G_g} \cdot \eta_i \cdot \rho_k \cdot n}. \quad (8)$$

При постоянной частоте вращения и на установившемся режиме работы можно считать, что

$$G_T = N_M / \eta_i \cdot \text{const}. \quad (9)$$

Преимущества: достаточно простой метод и не требует установки на стенд. Метод можно применять в процессе эксплуатации. Недостатки: для повышения точности метода необходима установка датчика расхода топлива.

Результаты исследования. При сравнении методов определения механических потерь видно, что каждый из способов – достаточно трудоемкий про-

цесс, требующий времени и специального оборудования. Эти методы разработаны для применения при стендовых испытаниях, и их использование в процессе эксплуатации автомобиля проблематично. Однако, можно выделить три метода: метод индцирования, метод выбега и метод определения механических потерь по измерению расхода топлива. Эти методы могут быть доработаны для их применения в процессе эксплуатации с целью оценки технического состояния двигателя.

По отдельности эти методы имеют ряд недостатков. Метод выбега позволяет достаточно быстро определить величину механических потерь, но требует отключения нагрузки от двигателя, что не всегда возможно. Метод определения механических потерь по изменению расхода топлива оценивает не только механические потери, но и качество работы других систем, что увеличивает погрешность измерения и делает его использование проблематичным.

Выводы

Основные недостатки представленных методов определения мощности механических потерь заключаются в следующем: трудоемкость процесса; время простоя транспортного средства; необходимость специального технического оснащения; невозможность получения полной картины технического состояния двигателя при использовании методов диагностики механических потерь по отдельности. Поэтому задача использования методов диагностики технического состояния и механических потерь в процессе эксплуатации может быть решена применением комбинации минимум из двух методов.

Библиографический список

1. Богатырев А.В., Есеновский-Лашков Ю.К., Насоновский М.Л. Автомобили: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2014. 655 с.
2. Автомобильные двигатели: Учебник / Под ред. М.Г. Шатрова. М.: «Academia», 2013. 464 с.
3. Хрящёв Ю.Е. Алгоритмы управления двигателями внутреннего сгорания / Ю.Е. Хрящёв, М.В. Тихомиров, Д.А. Епанешников: Монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2014. 204 с.
4. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях: Учебное пособие / С.В. Путинцев. М.: МГТУ им. Н. Баумана, 2011. 288 с.
5. Щукина В.Н., Девянин С.Н. Анализ использования режима холостого хода // Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. № 3 (67). 62 с.
6. Алексеев И.В. Автомобильные двигатели: Учебник для вузов. 3 изд. / И.В. Алексеев, К.А. Морозов, М.Г. Шатров. М.: Академия, 2013. 464 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983. 289 с.

8. Диагностирование автотракторных двигателей / Под ред. Н.С. Ждановского Л.: Колос, 1977. 264 с.

9. Келер К.А. Диагностика автомобильного двигателя / К.А. Келер. Ужгород: Изд-во «Карпаты», 1977. 160 с.

10. Диагностика и техническое обслуживание машин: Учебник / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 432 с.

Статья поступила 20.05.2016

ANALYSING METHODS OF DETERMINING MECHANICAL LOSSES FOR THEIR SUBSEQUENT USE IN OPERATION PROCESS

VARVARA N. SHCHUKINA, *postgraduate student*

E-mail: firstnotbarbara@gmail.com

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

There are many methods for determining mechanical power losses in internal combustion engines. These methods include turning the crankshaft of an internal combustion engine; sequential switching off the internal combustion engine cylinders; extrapolation of the load characteristics; indexing the pressure in the ICE cylinders; using a running out method; and measuring fuel consumption at an idle speed. Analyzing and comparing mechanical losses determination methods we can see that each of the methods is a rather laborious process that requires plenty of time and special equipment. These methods are useful in bench tests, but their use in the course of a vehicle operation is difficult. However, there are three distinguished methods - indexing, running out and mechanical losses determining through the measurement of fuel consumption. The author proves that these methods may be used in the course of operation, but each of them has several drawbacks. Thus, to better diagnose mechanical losses occurring during the operation, it is necessary to use a combination of at least two methods.

Key words: mechanical losses, running out method, fuel consumption measuring, pressure indexing in ICE cylinders.

References

1. Bogatyrev A.V., Esenovskiy-Lashkov Yu.K., Nasonovskiy M.L. Avtomobili: Uchebnik [Automobiles: Textbook]. M.: INFRA-M, 2014. 655 p. (In Russian).
2. Avtomobil'nye dvigateli: Uchebnik [Automotive Engines: Textbook] / Edited by M.G. Shatrova. M.: "Academia", 2013. 464 p. (In Russian).
3. Khryashchev Yu.Ye. Algoritmy upravleniya dvigatelyami vnutrennego sgoraniya [Algorithms for controlling internal combustion engines] / Khryashchev Yu.Ye., Tikhomirov M.V., Yepaneshnikov D.A.: Monograph. Yaroslavl: YAGTU, 2014. 204 p. (In Russian).
4. Putintsev S.V. Mekhanicheskie poteri v porshnevnykh dvigatelyakh: Uchebnoe posobie [Mechanical losses in piston-type engines: Study Manual] / S.V. Putintsev M.: MSTU named after N. Bauman, 2011. 288 p. (In Russian).
5. Shchukina V.N., Devyanin S.N. Analiz ispol'zovaniya rezhima kholostogo khoda [Analysis of the use of idling speed] / Herald of FSBEU HPE "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2015. Issue 3 (67). 62 p.
6. Alekseyev I.V. Avtomobil'nye dvigateli: Uchebnik dlya vuzov. 3 izd. [Automobile engines. Textbook for universities. 3rd ed.] / I.V. Alekseyev, K.A. Morozov, M.G. Shatrov. M.: Academy, 2013. 464 p. (In Russian).
7. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley [Internal combustion engines. Theory of piston-type and hybrid engines]. Ed. by A.S. Orlin and M.G. Kruglova. M.: Engineering, 1983. 289 p. (In Russian).
8. Diagnostirovanie avtotraktornykh dvigateley [Testing automobile and tractor engines]. Ed. by Zhdanovsky N.S. L.: Kolos, 1977. 264 p. (In Russian).
9. Koehler K.A. Diagnostika avtomobil'nogo dvigatelya [Testing automotive engines] / K.A. Koehler. Uzhgorod: Publishing House "Karpaty", 1977. 160 p. (In Russian).
10. Diagnostika i tekhnicheskoe obsluzhivanie mashin: Uchebnik [Machinery testing and maintenance: Textbook] / A.D. Ananin, V.M. Mikhlin, I.I. Gabitov. M.: Publishing Center "Academy", 2008. 432p. (In Russian).

Received on May 20, 2016