



## ОСОБЕННОСТИ ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ «СВОБОДНЫЙ РАЗГОН – ВЫБЕГ»

### THE FEATURES OF ENGINE WARM-UP IN THE OPERATION REGIME "FREE ACCELERATION – RUNDOWN"

**Ключевые слова:** прогрев двигателя, время прогрева, режим работы, разгон-выбег, тепловой баланс.

**Keywords:** engine warm-up, warm-up time, operating regime, acceleration – rundown, heat balance.

Прогрев двигателей после пуска осуществляется, как правило, его работой на холостом ходу при постепенном увеличении частоты вращения коленчатого вала и связан с непроизводительным расходом топлива, повышенным износом деталей двигателя и простоем транспортного средства [1]. Существующие рекомендации по режимам прогрева двигателей после пуска исходят из соображений обеспечения наименьших износов в процессе прогрева без учета расхода топлива, а также затрат времени или простоев. Предлагается способ послепускового прогрева, заключающийся в переводе двигателя в циклический режим работы «свободный разгон-выбег». Эффективность предложенного способа может быть достигнута, если выполнено условие: количество тепла, поданного в систему, должно быть больше или равно количеству тепла, необходимого для прогрева системы из «М» элементов в диапазоне температур « $\Delta T$ ». Тепло для прогрева системы поступает в виде двух составляющих: тепло, выделяющееся от сгорания топлива при свободном разгоне двигателя,  $Q_p$ ; тепло, выделяющееся при выбеге за счет преодоления механических потерь двигателя, с учетом теплоты, затраченной на прогрев воздуха при газообмене,  $Q_b$ . Влияние данного режима работы на расход топлива и продолжительность после пускового прогрева двигателя описано аналитическими выражениями. Учитывая то, что работа двигателя в режиме свободный разгон-выбег сопровождается большим индикаторным коэффициентом полезного действия, предлагаемый способ позволит сократить время после пускового прогрева двигателя внутреннего сгорания.

Engine warm-up after starting is generally performed by its idling with gradual increasing crankshaft revolutions, and is connected with unproductive fuel consumption, increased engine wear and vehicle downtime. The existing recommendations on engine warm-up after starting are aimed at the least engine wear at warm-up without considering fuel consumption or downtime. A method of engine warm-up after starting is proposed; it consists in engine transition to a cyclic operation regime of "free acceleration – rundown". The effectiveness of the proposed method may be attained at the following condition: the amount of heat supplied to the system should be greater or equal to the heat amount required for warming-up the system composed of "M" elements in the temperature range of " $\Delta T$ ". The heat for the system warm-up is supplied by the engine running in a cyclic regime of "free acceleration – rundown" in the form of two components: the heat generated by fuel combustion at the engine free acceleration,  $Q_p$ ; the heat generated at rundown by overcoming the mechanical losses of the engine,  $Q_b$ . The effect of this operation regime on the fuel consumption and the duration of engine warm-up after starting are described with analytical expressions. Given that the engine operation in the regime of "free acceleration – rundown" is accompanied by a large indicated efficiency, the proposed method may enable reducing the time of an internal combustion engine warm-up after starting.

**Булгаков Сергей Алексеевич**, ст. преп., каф. «Теоретическая и прикладная механика», Новосибирский государственный аграрный университет. E-mail: Bulgakoff-serg@mail.ru.

**Bulgakov Sergey Alekseyevich**, Asst. Prof., Chair of Theoretical and Applied Mechanics, Novosibirsk State Agricultural University. E-mail: Bulgakoff-serg@mail.ru.

#### Введение

На прогрев двигателя в условиях отрицательных температур оказывает влияние ряд эксплуатационных и конструктивных факторов, к которым следует отнести температуру окружающего воздуха, скорость ветра, скоростной и нагрузочный режимы работы двигателя в период прогрева, емкость систем охлаждения и смазки, наличие средств утеп-

ления и регулирования теплового режима и т.д. Из перечисленных факторов в производственных условиях можно изменять только скоростной и нагрузочный режимы работы в период прогрева, а также утепление двигателя [1].

Известно, что работа двигателей внутреннего сгорания происходит при определенном тепловом режиме, который обычно характе-

ризуется температурой охлаждающей жидкости в системе охлаждения. Для автотракторных двигателей оптимальным является тепловой режим, равный 80-90°C [2].

**Целью** работы является сокращение затрат времени послепускового прогрева и обеспечение безопасного ввода АТС в эксплуатацию.

**Задача** исследования – провести теоретические исследования изменения температуры при работе двигателя в режиме свободный разгон-выбег во время процесса прогрева двигателя.

#### Объекты и методы

Прогрев двигателей после пуска осуществляется, как правило, его работой на холостом ходу при постепенном увеличении частоты вращения коленчатого вала и связан с непроизводительным расходом топлива, повышенным износом деталей двигателя и простоем трактора или автомобиля. С понижением температуры окружающего воздуха продолжительность прогрева, износ и расход топлива также увеличиваются [3].

Существующие рекомендации по режимам прогрева двигателей после пуска исходят из соображений обеспечения наименьших износов в процессе прогрева без учета расхода топлива, а также затрат времени или простоев транспортных средств.

Очевидно, оптимальным режимом прогрева двигателя будет такой режим, который наиболее экономичен, то есть сопровождается не только минимальным износом, но и вызывает наименьшие затраты материалов и времени.

Анализ показывает, что сокращение продолжительности послепускового прогрева двигателя практически может быть достигнуто [4]:

- применением утеплителей двигателя;
- увеличением температуры двигателя до прогрева, предпусковой прогрев;
- повышением нагрузки на двигатель после пуска.

Чтобы оценить влияние нагрузки на расход топлива и продолжительности послепускового прогрева двигателя, необходимо рассмотреть тепловой баланс двигателя.

Распределение теплоты, выделяемой при сгорании вводимого в цилиндры двигателя топлива, на полезно используемую работу и отдельные виды потерь характеризуется внешним тепловым балансом.

В общем виде уравнение внешнего теплового баланса в абсолютных единицах можно представить так [5]:

$$Q_T = Q_e + Q_d + Q_{ож} + Q_{см} + Q_{ог} + Q_{нс} + Q_{пр},$$

где  $Q_T$  – количество теплоты, выделяемой при сгорании вводимого в двигатель топлива за определенное время (Дж/с);

$Q_e$  – теплота, эквивалентная эффективной работе, Дж;

$Q_d$  – количество теплоты, передаваемой деталям двигателя, Дж;

$Q_{см}$  – количество теплоты, передаваемой смазочному материалу, Дж;

$Q_{нс}$  – количество теплоты, потерянной из-за химической неполноты сгорания топлива, Дж;

$Q_{ог}$  – количество теплоты, теряемой с отработавшими газами, Дж;

$Q_{пр}$  – прочие потери теплоты, Дж.

Тепло для прогрева системы поступает от двигателя, работающего в циклическом режиме «свободный разгон-выбег» в виде двух составляющих:

– тепло, выделяющееся от сгорания топлива при свободном разгоне двигателя,  $Q_r$ ;

– тепло, выделяющееся при выбеге за счет преодоления механических потерь двигателя,  $Q_B$ .

#### Теоретическая часть

Эффективность предложенного способа будет достигнута, если выполнено условие: количество тепла, поданного в систему, должно быть больше или равно количеству тепла, необходимого для прогрева системы из «М» элементов в диапазоне температур « $\Delta T$ »:

$$Q_{пд} \geq Q_c,$$

где  $Q_{пд}$  – количество теплоты, поданного системе, Дж;

$Q_c$  – количество теплоты, необходимого для прогрева системы, Дж.

$$Q_c = (Q_e + Q_d + Q_{ож} + Q_{см}) = \Delta T \sum_{i=1}^M C_i \cdot m_i,$$

где  $C_i$  – удельная теплоемкость  $i$ -го элемента системы, Дж/К;

$m_i$  – масса  $i$ -го элемента системы, кг.

Количество тепла, выделенного двигателем при разгоне, пропорционально количеству израсходованного топлива:

$$Q_r = q \cdot M_p - Q_{нс},$$

где  $q$  и  $M_p$  – соответственно, теплотворная способность и масса израсходованного на разгон двигателя топлива.

$$Q_{нс} = \frac{\Delta Q_n G_f}{3,6},$$

где  $\Delta Q_n$  – количество теплоты, потерянное вследствие химической неполноты сгорания, Дж.

Масса топлива может быть определена аналитически из уравнения движения топлива при разгоне [6] или из скоростной характеристики топливоподачи при известных значениях начальной и конечной частот вращения коленчатого вала двигателя и закономерности

изменения цикловой подачи топлива, в зависимости от частот вращения вала топливного насоса.

Аналитическое решение связано с определенными трудностями интегрирования исходного выражения

$$G_c = A \cdot [q_0 - k \cdot \Delta\varphi \cdot \Delta t + \alpha \cdot \beta(1 - e^{-\lambda t})] \cdot [\omega_0 + \beta(1 - e^{-\lambda t})],$$

где  $q_0$  – максимальное значение цикловой подачи топлива при работе двигателя на исходном режиме работы;

$k$  – постоянный для данного топливного насоса коэффициент, характеризующий взаимосвязь между положением топливрегулирующего органа и величиной цикловой подачи топлива;

$\Delta\varphi$  – угол поворота топливрегулирующего органа;

$\alpha$  – постоянный для данного топливного насоса коэффициент, устанавливающий взаимосвязь между угловой скоростью двигателя и величиной цикловой подачи топлива;

$\beta, \lambda$  – постоянные для данной марки двигателя коэффициенты;

$\omega_0$  – исходная угловая скорость двигателя.

Предпочтительное решение задачи по значениям параметров скоростной характеристики, при работе двигателя в режиме свободного разгона:

$$Q_p = k \cdot \bar{q}_c \cdot \omega \cdot t_p,$$

где  $\bar{q}_c$  – среднее значение цикловой подачи топлива при работе двигателя режиме разгона, г/цикл;

$k$  – постоянный для данного топливного насоса коэффициент, характеризующий взаимосвязь между положением топливрегулирующего органа и величиной цикловой подачи топлива;

$\omega$  – значение угловой скорости двигателя;

$t_p$  – время разгона, с.

Количество тепла, выделенного при выбеге:

$$Q_{в} = q_{т} \cdot A_{в},$$

где  $q_{т}$  – тепловой эквивалент;

$A_{в}$  – работа по преодолению сил сопротивления при выбеге.

$$A_{в} = M_{т} \cdot \varphi = \frac{I}{2} (\omega_2^2 - \omega_1^2),$$

где  $M_{т}$  – момент механических потерь;

$I$  – момент инерции движущихся масс;

$\varphi$  – угол поворота коленчатого вала;

$\omega_2$  и  $\omega_1$  – угловая скорость вращения начальная и конечная соответственно.

Известно, что несоответствие часового расхода топлива  $\Delta G_c$  в статико-динамическом и установившемся режимах увеличивается с ростом интервала  $\Delta\omega$  при неизменном положении дроссельной заслонки и постоянстве средних оборотов  $\omega_{ср}$  за цикл разгон-выбег (рис.).

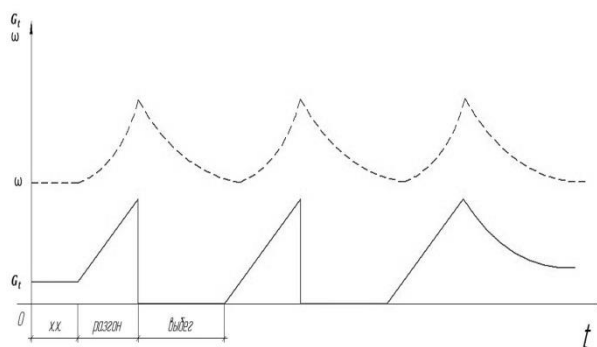


Рис. 1. Схема циклического режима работы двигателя «свободный разгон-выбег»

Установленное отклонение статических и динамических расходов  $\Delta G_c = G_c^{ст} - G_c^{дин}$  носит односторонний характер ( $G_c^{ст} > G_c^{дин}$  всегда) [7] и объясняется следующим: при выбеге двигателя в цикле разгон-выбег отсутствуют остаточные газы в цилиндрах, снижается температура внутрицилиндрового объема и деталей впускного тракта. Это способствует увеличению весового наполнения цилиндров горючей смесью и коэффициента наполнения по отношению к рабочему режиму двигателя (разгону).

### Выводы

Потери теплоты в первые минуты после пускового прогрева определяется в основном потерями с выхлопными газами и потерями химической энергии топлива от неполноты сгорания. В этот период большая часть энергии сгоревшего топлива полезно используется для разогрева всех систем силовой установки машины.

Учитывая то, что работа двигателя в режиме свободный разгон-выбег сопровождается большим индикаторным коэффициентом полезного действия, в сравнении с работой двигателя на холостом ходу, предлагаемый способ позволит сократить время послепускового прогрева двигателя внутреннего сгорания.

**Библиографический список**

1. Цуцоев В.И. Зимняя эксплуатация тракторов и автомобилей. – 3-е изд., доп. – М.: Моск. рабочий, 1983. – 111 с.
2. Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания: справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1979. – 222 с.
3. Тюлькин В.А. Оценка приспособленности автомобилей к зимним условиям эксплуатации по темпу охлаждения двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2000. – 17 с.
4. Микулин Ю.В., Карниций В.В., Энглин Н.А. Пуск холодных двигателей при низкой температуре. – М.: Машиностроение, 1971.
5. Николаенко А.В. Теория и расчет автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1984. – 335 с.
6. Воронин Д.М. Обеспечение контроля топливной экономичности МТА в условиях эксплуатации: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03. – Новосибирск, 1995.
7. Holzer H., Lenz H.P. Das Krafftfahrzeug im Warmlauf. In: Warmemanagement des Krafft-fahrzeugs II, 2000.

**References**

1. Tsutsoev V.I. Zimnyaya ekspluatatsiya traktorov i avtomobilei. 3-e izd., dop. – M.: Mosk. rabochii, 1983. – 111 s.
2. Kostin A.K., Larionov V.V., Mikhailov L.I., Teplonapryazhennost' dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Spravochnoe posobie. – L.: Mashinostroenie, 1979. – 222 s.
3. Tyul'kin V.A. Otsenka prisposoblennosti avtomobilei k zimnim usloviyam ekspluatatsii po tempu okhlazhdeniya dvigatelei: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Tyumen', 2000. – 17 s.
4. Mikulin Yu.V., Karnitsii V.V., Englin N.A. Pusk kholodnykh dvigatelei pri nizkoi temperature. – M.: Mashinostroenie, 1971.
5. Nikolaenko A.V. Teoriya i raschet avtotraktornykh dvigatelei. – M.: Kolos, 1984. – 335 s.
6. Voronin D.M. Obespechenie kontrolya toplivnoi ekonomichnosti MTA v usloviyakh ekspluatatsii: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.20.03. – Novosibirsk, 1995.
7. Holzer H., Lenz H.P. Das Krafftfahrzeug im Warmlauf. In: Warmemanagement des Krafft-fahrzeugs II, 2000.

