

Глазунов Д.В.

РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

D.V. Glazunov

CALCULATION OF A CAR ENGINE, WORKING IN THE KYRGYZ REPUBLIC

УДК:629.1-49.003.13

В статье рассматриваются некоторые причины ухудшения качества горючей смеси автомобильных бензиновых двигателей, эксплуатирующихся в условиях высокогорья, а также последствия этого: ухудшение экономических и токсических показателей автотранспортных средств, уменьшение моторесурса двигателей и т.д.

На примере анализа изменения отдельных параметров, входящих в развернутое уравнение эффективной мощности двигателя при повышенных температурах поступающих в двигатель воздуха и топлива, даются обоснования указанных выше показателей работы двигателя.

In clause some reasons of deterioration of quality of a combustible mix of the automobile petrol engines maintained in conditions of increased temperatures of an air (in a warm season) are considered and also the consequences of this deterioration are considered: deterioration economic and tocsical parameters, reduction of a motor-resource of engines etc.

On an example of the analysis of change of the separate parameters which are included in developed equation of an effective power, of the developed the equation, increased temperatures acting in engine of air, acting in the engine, the substantiations of the mentioned above parameters of work of the engine are given.

Высокогорные условия эксплуатации – это условия, которые сопровождаются пониженным барометрическим давлением воздуха, влияющим на изменение коэффициента избытка воздуха, коэффициента наполнения и, как следствие, переобогащение горючей смеси и ухудшение других показателей работы двигателя.

Вопросы, связанные с работой карбюраторного двигателя в высокогорных условиях исследованы достаточно широко. В литературе по этому поводу имеется обширный исследовательский материал [1,2,3,4]. Однако эти материалы в основном касаются характера изменения индикаторных и эффективных показателей двигателя в зависимости от изменения высоты местности над уровнем моря и почти не затрагивают такие важные вопросы как корректирование состава горючей смеси и изменение момента зажигания, применение сверхнизкого наддува для сохранения мощности двигателя, особенности работы систем охлаждения и смазки, работа двигателя при использовании его для торможения автомобиля и др. в условиях высокогорья (пониженного барометрического давления).

Проведем анализ рабочего процесса карбюраторного автомобильного двигателя, работающего в высокогорных условиях. Рассмотрим известные формулы для приведения показателей работы двигателя к нормальным атмосферным условиям (т.е. к уровню моря) и обобщим известные и вновь полученные экспериментальные материалы, результатов испытания двигателей в условиях эксплуатации автомобиля на горных дорогах.

Основные показатели рабочего процесса двигателя обычно изображаются пи помощи индикаторной диаграммы. Рассмотрим элемент индикаторной диаграммы процессов впуска и сжатия для двигателя, работающего в высокогорных условиях (при пониженном барометрическом давлении):

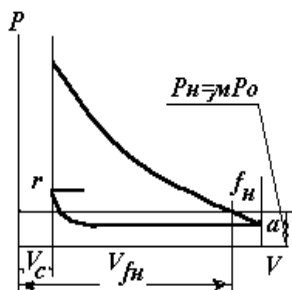


Рис. 1. Диаграмма процесса впуска и сжатия бензинового двигателя, работающего в высокогорных условиях.

В отличие от диаграммы соответствующей работе двигателя в нормальных атмосферных условиях, здесь ордината атмосферной линии составляет $p_n = \mu P_0$.

Кроме того, температура воздуха на заданной высоте составляет $T_n = \beta T_0$, где β – коэффициент изменения температуры от высоты над уровнем моря, а температура и давление остаточных газов будет, соответственно, T_{r_n} и p_{r_n} , значения которых меньше чем T_0 , T_r и p_r , при нормальных атмосферных условиях.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что коэффициент наполнения двигателя уменьшается при увеличении высоты над уровнем моря /4,2/. Это можно подтвердить, рассмотрев известное выражение для коэффициента наполнения в нормальных атмосферных условиях и для заданной высоты:

$$\eta_v = \frac{G_0}{G_v} \text{ и } \eta_{vh} = \frac{G_h}{G_{vh}},$$

где:

G_0, G_h – действительное количество воздуха, поступившего в цилиндры двигателя соответственно при нормальных атмосферных условиях и при рассматриваемой высоте;

G_v, G_{vh} – теоретическая масса заряда цилиндров двигателя соответственно при нормальных условиях и при рассматриваемой высоте;

Делением первого выражения на второе получим:

$$\frac{\eta_{vh}}{\eta_v} = \frac{G_h \cdot G_v}{G_0 \cdot G_{vh}}. \quad (1)$$

Известно /1,2,5/, что расход воздуха изменяется прямо пропорционально изменению давления и обратно пропорционально корню квадратному его температуры:

$$\frac{G_h}{G_0} = \frac{p_h}{p_0} \sqrt{\frac{T_0}{T_h}} = \frac{\mu p_0}{p_0} \sqrt{\frac{T_0}{\beta T_0}} = \frac{\mu}{\sqrt{\beta}}. \quad (2)$$

Кроме того, известно, что

$$G_v = V_h \gamma_{ov}, \\ G_{vh} = V_h \gamma_{hv},$$

где γ_{ov} и γ_{hv} – плотность воздуха для нормальных условий и для данной высоты, соответственно.

Если принять во внимание, что

$$\gamma_{hv} = \gamma_{ov} \frac{p_h}{p_0} \frac{T_0}{T_h} = \gamma_{ov} \frac{\mu p_0}{p_0} \frac{T_0}{\beta T_0} = \gamma_{ov} \frac{\mu}{\beta},$$

можно будет написать

$$G_{vh} = V_h \gamma_{ov} \frac{\mu}{\beta},$$

или

$$\frac{G_v}{G_{vh}} = \frac{\beta}{\mu} \quad (3)$$

Если в уравнении (1) подставить соответственно выражения (2) и (3), получим:

$$\frac{\eta_{vh}}{\eta_v} = \sqrt{\beta},$$

или

$$\eta_{vh} = \eta_v \sqrt{\beta} = \eta_v \sqrt{\frac{T_h}{T_0}}. \quad (4)$$

Полученное выражение показывает, что коэффициент наполнения изменяется пропорционально корню квадратному от температуры воздуха перед карбюратором.

По стандартной международной атмосфере всегда $T_h < T_0$ ($\beta < 1$) и, следовательно, можно принять, что по мере увеличения высоты над уровнем моря коэффициент наполнения понижается.

Интересно обратить внимание на то обстоятельство, что в условиях высокогорья при неизменном давлении атмосферного воздуха, если понизится его температура, то, несмотря на некоторое увеличение весового заряда, коэффициент наполнения двигателя будет все-таки снижаться.

Следует отметить, как показывают эксперименты, проведенные в реальных высотных условиях, фактическое уменьшение коэффициента наполнения бывает более значительным /1,3/. Это объясняется тем, что в высотных условиях уменьшается масса движущегося во впускных патрубках воздуха, что влечет за собой уменьшение весового наполнения цилиндров.

Тепловой баланс двигателя, работающего в высотных условиях, по аналогии с тепловым балансом, составленным для двигателя, работающего в нормальных условиях, можно написать в виде:

$$u_{fh} = u_n + u_{rh}$$

Отдельные составляющие баланса можно выразить следующим образом.

Внутренняя энергия газов в точке f_n (рис.1)

$$u_{f_n} = M_{f_n} m c_{vf} T_{f_n} = \frac{\mu \rho_0 V_{f_n}}{8314 T_{f_n}} m c_{vf} T_{f_n} = \mu \rho_0 V_{f_n} \frac{m c_{vf}}{8314}; \quad (5)$$

Внутренняя энергия свежего заряда

$$u_n = M_n m c_{vn} T_n' = \frac{\mu \rho_0 V_n \eta_{vn}}{8314 \beta T_0} m c_{vn} T_n';$$

Внутренняя энергия остаточных газов

$$u_{rn} = M_{rn} m c_{vr} T_n = \frac{\rho_{rn} V_c}{8314 T_{rn}} m c_{vr} T_{rn} = \rho_{rn} V_c \frac{m c_{vr}}{8314}.$$

Подставляя написанные выражения в уравнение (5), получим

$$\mu \rho_0 V_{f_n} \frac{m c_{vf}}{8314} = \frac{\mu \rho_0 V_n \eta_{vn}}{8314 \beta T_0} m c_{vn} T_n' + \rho_{rn} V_c \frac{m c_{vr}}{8314}.$$

Разделив все члены написанного выражения на V_c и принимая

$$\frac{V_{f_n}}{V_c} = \varepsilon_1, m c_{vf} = m c_{vn} \quad \text{и} \quad \frac{m c_{vr}}{m c_{vf}} = \psi,$$

будем иметь

$$\mu \rho_0 \varepsilon_1 = \mu \rho_0 (\varepsilon - 1) \eta_{vn} \frac{T_n'}{\beta T_0} + \psi \rho_{rn},$$

откуда

$$\varepsilon_1 = (\varepsilon - 1) \eta_{vn} \frac{T_n'}{\beta T_0} + \frac{\psi \rho_{rn}}{\mu \rho_0}. \quad (6)$$

В этих формулах $T_n' = \beta T_0 + \Delta T$, где ΔT – температура подогрева, а ε_1 – приведенная степень сжатия.

Температуру T_{f_n} можно определить из баланса тепла. Для этого уравнение (5) перепишем в следующем виде:

$$M_{f_n} m c_{vf} T_{f_n} = M_n m c_{vn} T_n' + M_{rn} m c_{vr} T_{rn},$$

Или

$$M_n (1 + \gamma_n) m c_{vf} T_{f_n} = M_n m c_{vn} T_n' + M_n \gamma_n m c_{vr} T_{rn},$$

Откуда

$$T_{f_n} = \frac{T_n' + \gamma_n T_{rn}}{1 + \gamma_n}. \quad (7)$$

Коэффициент остаточных газов для нормальных условий

$$\gamma_0 = \frac{M_r}{M_0}.$$

Для высотных условий коэффициент остаточных газов будет

$$\gamma_n = \frac{M_{rn}}{M_n}.$$

Имея в виду, что

$$M_{rn} = \frac{\rho_{rn} V_c}{8314 T_{rn}} \quad \text{и} \quad M_n = \frac{\mu \rho_0 V_n \eta_{vn}}{8314 \beta T_0},$$

можно написать:

$$\gamma_n = \frac{\rho_{rn}}{\mu \rho_0} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{1}{\eta_{vn}} \frac{\beta T_0}{T_{rn}}. \quad (8)$$

Учитывая, что $\eta_{vn} = \eta_v \sqrt{\beta}$, можно также написать:

$$\gamma_n = \frac{\rho_{rH}}{\mu\rho_0} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{\sqrt{\beta}}{\eta_v} \frac{T_0}{T_{rH}}. \quad (9)$$

Давление и температура в нижней мертвой точке:

$$\rho_a = \mu\rho_0 \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right)^{n_{CЖ}} \quad (10)$$

$$\text{и } T_a = T_{fn} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right)^{n_{CЖ}-1} \quad (11)$$

или, учитывая значения ε_1 и η_{vH} ,

$$\rho_a = \mu\rho_0 \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \eta_v \frac{T'_n}{\sqrt{\beta}T_0} + \frac{\psi}{\varepsilon} \frac{\rho_{rH}}{\mu\rho_0} \right)^{n_{CЖ}} \quad (12)$$

и

$$T_a = T_{fn} \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \eta_v \frac{T'_n}{\sqrt{\beta}T_0} + \frac{\psi}{\varepsilon} \frac{\rho_{rH}}{\mu\rho_0} \right)^{n_{CЖ}-1} \quad (13)$$

Полученные формулы учитывают изменение коэффициента наполнения и других параметров в зависимости от атмосферных условий и вполне отвечают работе высотного двигателя.

Давление и температура в конце сжатия:

$$P_c = p_a \varepsilon^{n_{CЖ}} \quad \text{и} \quad T_c = T_a \varepsilon^{n_{CЖ}-1}.$$

Дальнейший ход теплового расчета не отличается от обычного.

В некоторых случаях целесообразно определять значения параметров цикла для высотных условий по простому пересчету их значений, соответствующих нормальным условиям. Величина мощности двигателя изменяется вследствие изменения количества и качества рабочей смеси в цилиндрах двигателя, числа оборотов коленчатого вала двигателя и других параметров. В тяговой динамике автомобиля мощность двигателя считают функцией только частоты вращения коленчатого вала, подразумевая, что дроссельная заслонка открыта полностью в карбюраторном двигателе, или положение рейки топливного насоса соответствует максимальной подаче топлива в дизеле, а остальные факторы, считается, что имеют оптимальные значения. При таких условиях в основу расчетов можно положить внешнюю скоростную характеристику двигателя.

Проведя анализ рабочего цикла двигателя, работающего в высокогорных условиях, можно сделать следующие основные выводы:

1. Значения температуры и давления воздуха на заданной высоте будут отличаться от давления и температуры над уровнем моря и их значения будут ниже.
2. Расход воздуха изменяется прямо пропорционально изменению давления и обратно пропорционально корню квадратному его температуры.
3. Уменьшение плотности воздуха с увеличением высоты над уровнем моря приводит к уменьшению весового заряда цилиндров двигателя. При этом уменьшаются: коэффициент наполнения, давление рабочего заряда в цилиндре в конце впуска, а значит, и далее в характерных точках рабочего цикла, а это в свою очередь приводит к соответственному уменьшению индикаторного КПД, индикаторной мощности двигателя, ухудшению его экономических и токсических показателей. Основной причиной указанных выше явлений является ухудшение процесса сгорания смеси по причине ее переобогащения.

Литература:

1. В.А. Орлов. Исследование работы автомобильного карбюратора при различных температурных условиях. «Автомобильная промышленность», №12, 1963.
2. Браильчук П.Л. и др. Мощностные и экономические показатели двигателя ЗИЛ – 130 при пониженных плотностях воздуха. "Автомобильная промышленность" №4, 1964, №11, 1965.
3. Глазунов В.И. и др. - Метод повышения эксплуатационной эффективности двигателей в высокогорных условиях. В кн. ВКЭИ автобусостроения, Львов, 1977.
4. Ермолаев П.С. - Исследование работы автомобильного карбюраторного двигателя в высокогорных условиях. Труды НАМИ. 1978.

Рецензент: к.т.н., доцент Советбеков Б.С.