

УДК 656.017(23.03)(575.2)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЙ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ НА РАБОЧИЙ ЦИКЛ АВТОМОБИЛЬНОГО КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Д.В. Глазунов

Рассматриваются некоторые причины ухудшения качества горючей смеси автомобильных бензиновых двигателей, эксплуатирующихся в условиях высокогорья, а также последствия этого.

Ключевые слова: высокогорные условия; автомобильный карбюраторный двигатель; коэффициент избытка воздуха; эксплуатационные показатели автомобиля.

THE INFLUENCE OF HIGH-MOUNTAINOUS CONDITIONS OF THE KYRGYZ REPUBLIC ON RUNNING CYCLE OF A CAR CARBURETTED ENGINE

D.V. Glazunov

The article is dedicated to some reasons of deterioration of quality of a fuel-air mixture for cargasoline-engines maintained in high-mountainous conditions and also the consequences of this deterioration.

Key words: high-mountainous conditions; car gasoline-engine; excess air coefficient; car performance criteria.

Введение. Вопросы, связанные с работой карбюраторного двигателя в высокогорных условиях, исследованы достаточно широко. В литературе по этому поводу имеется обширный исследовательский материал [1–4]. 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).

Цель и постановка задачи. В статье проведен анализ рабочего цикла карбюраторного двигателя, работающего в условиях Кыргызской Республики. 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.

Результаты исследования. 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.

На рисунке 1 показана диаграмма процессов впуска и сжатия для двигателя, работающего в высокогорных условиях (пониженное барометрическое давление).

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, $T_{пн}$ и $p_{пн}$, значения которых меньше, чем T_0 , T_1 и p_1 при нормальных атмосферных условиях.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что коэффициент наполнения двигателя уменьшается при увеличении высоты над уровнем моря [2, 4]. Это можно подтвердить, рассмотрев из-

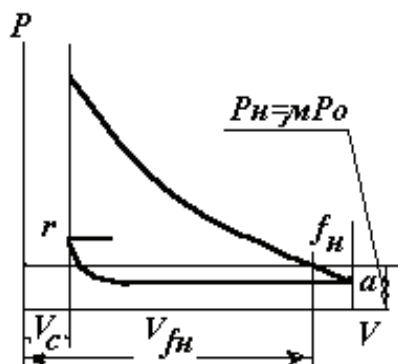


Рисунок 1 – Диаграмма процесса впуска и сжатия бензинового двигателя, работающего в высокогорных условиях

вестное выражение для коэффициента наполнения в нормальных атмосферных условиях и для заданной высоты:

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

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

$$\begin{aligned} G_v &= V_h \gamma_{ов}, \\ G_{vh} &= V_h \gamma_{нв}, \end{aligned}$$

где $\gamma_{ов}$ и $\gamma_{нв}$ – плотность воздуха для нормальных условий и для данной высоты соответственно.

Если принять во внимание, что

$$\gamma_{нв} = \gamma_{ов} \frac{p_h}{p_0} \frac{T_0}{T_h} = \gamma_{ов} \frac{\mu p_0}{p_0} \frac{T_0}{\beta T_0} = \gamma_{ов} \frac{\mu}{\beta},$$

можно будет написать

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

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

$$u_{f_H} = u_n + u_{r_H}.$$

Отдельные составляющие баланса можно выразить следующим образом.

Внутренняя энергия газов в точке f_H (рисунок 1)

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

внутренняя энергия свежего заряда

$$u_n = M_n m c_{vH} T'_n = \frac{\mu \rho_0 V_n \eta_{vH}}{8314 \beta T_0} m c_{vH} T'_n;$$

внутренняя энергия остаточных газов

$$u_{r_H} = M_{r_H} m c_{vH} T_H = \frac{\rho_{r_H} V_c}{8314 T_{r_H}} m c_{vH} T_H = \rho_{r_H} V_c \frac{m c_{vH}}{8314}.$$

Подставляя написанные выражения в уравнение (5), получим

$$\mu \rho_0 V_{f_H} \frac{m c_{vf}}{8314} = \frac{\mu \rho_0 V_n \eta_{vH}}{8314 \beta T_0} m c_{vH} T'_n + \rho_{r_H} V_c \frac{m c_{vH}}{8314}.$$

Разделив все члены написанного выражения на V_c и принимая

$$\frac{V_{f_H}}{V_c} = \varepsilon_1, m c_{vf} = m c_{vH} \text{ и } \frac{m c_{vH}}{m c_{vf}} = \psi,$$

будем иметь

$$\mu \rho_0 \varepsilon_1 = \mu \rho_0 (\varepsilon - 1) \eta_{vH} \frac{T'_n}{\beta T_0} + \psi \rho_{r_H},$$

откуда

$$\varepsilon_1 = (\varepsilon - 1) \eta_{vH} \frac{T'_n}{\beta T_0} + \frac{\psi \rho_{r_H}}{\mu \rho_0}. \quad (6)$$

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

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

$$M_{f_H} m c_{vf} T_{f_H} = M_n m c_{vH} T'_n + M_{r_H} m c_{vH} T_H$$

или

$$M_n (1 + \gamma_n) m c_{vf} T_{f_H} = M_n m c_{vH} T'_n + M_n \gamma_n m c_{vH} T_H,$$

откуда

$$T_{f_H} = \frac{T'_n + \psi \gamma_n T_H}{1 + \gamma_n}. \quad (7)$$

Коэффициент остаточных газов для нормальных условий

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

Для высотных условий коэффициент остаточных газов будет

$$\gamma_n \frac{M_{гн}}{M_n}$$

Имея в виду, что

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

можно написать:

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

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

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

Давление и температура в нижней мертвой точке

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

и

$$T_a = T_{гн} \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} \right)^{n_{сж}-1}. \quad (11)$$

или, учитывая значения ε_1 и $\eta_{вн}$,

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

и

$$T_a = T_{гн} \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \eta_v \frac{T'_{гн}}{\sqrt{\beta} T_0} + \frac{\psi}{\varepsilon} \frac{\rho_{гн}}{\mu \rho_0} \right)^{n_{сж}-1}. \quad (13)$$

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

Давление и температура в конце сжатия

$$P_c = p_a \varepsilon_{сж}^n \text{ и } T_c = T_a \varepsilon_{сж}^{n-1}.$$

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, имеют оптимальные значения. При таких условиях в основу расчетов можно положить внешнюю скоростную характеристику двигателя.

Выводы. 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. Путем проведения соответствующей температурной коррекции состава смеси можно значительно улучшить эксплуатационные и экологические показатели автомобильных карбюраторных двигателей.

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