

УДК: 629.1-49.003.13

**ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГОРНЫХ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ  
НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЮЧЕЙ СМЕСИ АВТОМОБИЛЬНОГО  
БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ГОРЕНИЯ**

*Д.В. Глазунов, В.И. Глазунов*

Рассматриваются основные причины ухудшения качества образования горючей смеси автомобильных бензиновых двигателей, находящихся в высокогорных условиях, а также влияние высокогорья на ухудшение процесса горения, что ведет к ухудшению экономических и токсических показателей.

*Ключевые слова:* мощность двигателя; высокогорье; высокая температура; смесеобразование.

---

**INFLUENCE OF HIGH-HEAVY AND HIGH-TEMPERATURE CONDITIONS  
FOR THE PROCESS OF MIXTURE FORMATION AUTOMOBILE PETROL ENGINE  
AND THE PECULIARITIES OF ITS COMBUSTION**

*D. V. Glazunov, V.I. Glazunov*

The paper considers main reasons for deterioration of formation of gas mixture of the automobile petrol engines which are in mountain conditions and also influence of highlands on deterioration in process of burning, that leads to deterioration in economic and toxic indicators.

*Keywords:* Engine power; high altitude; high temperature; mixture formation.

Современный уровень автомобилизации и широкий климатический диапазон использования автомобилей, предполагает значительное улучшение их экономических и токсических показателей, например путем автоматического поддержания (корректирования) качества горючей смеси бензиновых двигателей при повышенных температурах окружающего воздуха в наиболее рациональных пределах: в соответствии с изменением температуры поступающих в двигатель воздуха и топлива

Работа бензиновых двигателей в высокогорных условиях исследована достаточно широко [1–4]. Однако результаты этих исследований, 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 изменение состава горючей смеси и опережение момента зажигания, применение наддува для сохранения мощности двигателя, особенности работы системы охлаждения, работы двигателя при использовании его для торможения автомобиля и др. в условиях высокогорья (пониженного барометрического давления).

Авторами был проведен анализ рабочего цикла бензинового двигателя внутреннего сгорания, работающего в условиях Кыргызской Республики, т. е. в условиях высокогорья и повышенных температур. Эти условия характеризуются пониженным барометрическим давлением и высокими температурами воздуха, особенно в летнее время, влияющими на изменение коэффициента избытка воздуха и переобогащение горючей смеси, что в свою очередь оказывают влияние на другие показатели работы двигателя.

Проведем анализ рабочего процесса автомобильного бензинового двигателя, работающего в высокогорных условиях. Рассмотрим формулы для приведения показателей двигателя к нормальным атмосферным условиям и обобщим экспериментальный материал, полученный в результате испытания двигателей в высотных условиях.

Рассмотрим диаграмму процессов впуска и сжатия горючей смеси для двигателя, работающего в высокогорных условиях (рисунок 1).

В отличие от диаграммы работы двигателя, работающего в нормальных атмосферных условиях, в нашем случае ордината атмосферной линии составляет  $p_n = \mu p_0$ .

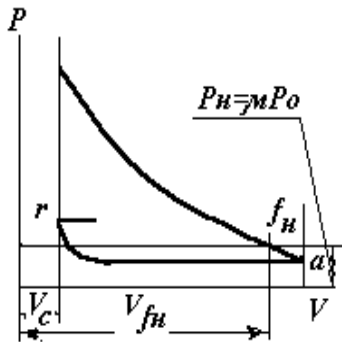


Рисунок 1 – Диаграмма процесса впуска и сжатия бензинового двигателя, работающего в высокогорных условиях

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

Исследования показали, что коэффициент наполнения двигателя уменьшается при увеличении высоты над уровнем моря [2, 5]. Это можно подтвердить, рассмотрев известное выражение для коэффициента наполнения в нормальных атмосферных условиях и для заданной высоты:

$$\eta_v = \frac{G_0}{G_u} \text{ и } \eta_{vH} = \frac{G_H}{G_{vH}},$$

где  $G_0$  – действительное количество воздуха, поступившего в цилиндры двигателя при нормальных атмосферных условиях;  $G_u$  – то же, при работе двигателя на данной высоте;  $G_v$  – теоретическая масса заряда цилиндров двигателя при нормальных условиях;  $G_{vH}$  – то же, для данной высоты.

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, 4], 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

$$G_v = V_h \gamma_{ov}, \quad G_{vH} = V_h \gamma_{Hv},$$

где  $\gamma_{ov}$  и  $\gamma_{Hv}$  – плотность воздуха для нормальных условий и для данной высоты, соответственно.

Если принять во внимание, что

$$\gamma_{Hv} = \gamma_{ov} \frac{p_H T_0}{p_0 T_n} = \gamma_{ov} \frac{\mu p_0 T_0}{p_0 \beta T_0} = \gamma_{ov} \frac{\mu}{\beta},$$

можно будет записать

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

$$\text{или } \frac{G_v}{G_{vH}} = \frac{\beta}{\mu}. \quad (3)$$

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

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

$$\text{или } \eta_{vH} = \eta_v \sqrt{\beta} = \eta_v \sqrt{\frac{T_n}{T_0}}. \quad (4)$$

Эти расчеты показывают, что коэффициент наполнения изменяется пропорционально корню квадратному от температуры воздуха.

Согласно таблицам стандартной международной атмосферы, всегда  $T_n < T_0$  ( $\beta < 1$ ) и, следовательно, можно признать, что по мере увеличения высоты над уровнем моря коэффициент наполнения понижается.

Следует также учитывать, что в условиях высокогорья при неизменном давлении атмосферного воздуха, при понижении его температуры, несмотря на некоторое увеличение весового заряда, коэффициент наполнения двигателя будет все-таки снижаться.

Эксперименты, проведенные в реальных высотных условиях, показывают, что фактическое уменьшение коэффициента наполнения бывает более значительным [1, 2, 5]. Это объясняется тем, что в условиях высокогорья уменьшается масса движущегося во впускных патрубках воздуха, что приводит к уменьшению весового наполнения цилиндров.

Исходя из этого, запишем тепловой баланс двигателя, работающего в условиях высокогорья, по аналогии с тепловым балансом, составленным для двигателя, работающего в нормальных условиях:

$$u_{fH} = u_n + u_{rn}.$$

Отдельные составляющие баланса можно выразить следующим образом.

Внутренняя энергия газов в точке  $f_H$  (рисунок 1):

$$u_{fH} = M_{fH} m_{cv} T_{fH} = \frac{\mu \rho_0 V_{fH}}{8314 T_{fH}} m_{cv} T_{fH} = \mu \rho_0 V_{fH} \frac{m_{cv}}{8314}.$$

Внутренняя энергия свежего заряда:

$$u_n = M_n m_{cv} T_n^1 = \frac{\mu \rho_0 V_h \eta_{vH}}{8314 \beta T_0} m_{cv} T_n^1.$$

Внутренняя энергия остаточных газов:

$$u_{rn} = M_{rn} mc_{vn} T_n = \frac{\rho_{rn} V_c}{8314 T_{rn}} mc_{vr} T_{rn} = \rho_{rn} V_c \frac{mc_{vr}}{8314}. \quad (5)$$

Подставляя эти выражения в уравнение (5), получим:

$$\mu \rho_0 V_{fu} \frac{mc_{vf}}{8314} = \frac{\mu \rho_0 V_h \eta_{vn}}{8314 \beta T_0} mc_{vn} T'_n + \rho_{rn} V_c \frac{mc_{vr}}{8314}.$$

Разделив все члены написанного выражения на  $V_c$ , и принимая

$$\frac{V_{fu}}{V_c} = \varepsilon_1, mc_{vf} = mc_{vn} \text{ и } \frac{mc_{vr}}{mc_{vf}} = \psi,$$

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  $\Delta T$  – температура подогрева, а  $\varepsilon_1$  – приведенная степень сжатия.

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

$$M_{fu} mc_{vf} T_{fu} = M_n mc_{vn} T_n + M_{rn} mc_{vr} T_{rn},$$

или

$$M_n (1 + \gamma_n) mc_{vf} T_{fu} = M_n mc_{vn} T_n + M_{rn} \gamma_n mc_{vr} T_{rn},$$

откуда

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

Коэффициент остаточных газов для нормальных условий:

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

Для высотных условий коэффициент остаточных газов составит:

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

Имея в виду, что

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

можно записать:

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

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

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

Давление и температура в нижней мертвой точке составят:

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

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

или, учитывая значения  $\varepsilon_1$  и  $\eta_{vn}$

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

и

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

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

Следует помнить, что в этих формулах  $p_0$  и  $T_0$  представляют давление и температуру атмосферного воздуха в нормальных условиях.

Давление и температура в конце сжатия:

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

Дальнейший ход теплового расчета не отличается от обычного.

Как показывают расчеты и эксперименты, изменение температуры поступающего в карбюратор топлива и воздуха на 10 °С влечет за собой относительно пропорциональное изменение коэффициента избытка воздуха на 3–3,5 % в зависимости от режима работы двигателя.

Так как при повышенных температурах наблюдается резкое уменьшение коэффициента избытка воздуха, то полнота сгорания (окисления) топлива также ухудшается и соответственно уменьшается количество выделяющейся теплоты, а, следовательно, уменьшается индикаторный КПД двигателя.

В некоторых случаях целесообразно определять значения параметров цикла для высотных условий путем простого пересчета 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 в бензиновом двигателе открыта полностью, или положение рейки топливного насоса соответствует максимальной подаче топлива в дизеле, и считается, что остальные факторы имеют оптимальные

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

Таким образом, анализ рабочего цикла автомобильного двигателя, работающего в высокогорных и жарких условиях республики, позволил сделать следующие основные выводы:

Значения температуры в летнее время и давление воздуха на заданной высоте будут отличаться от давления и температуры над уровнем моря, их значения будут ниже, следовательно и расход воздуха изменится прямо пропорционально изменению давления и обратно пропорционально корню квадратному его температуры.

Используя соответствующую температурную и высотную коррекцию состава смеси, можно значительно улучшить эксплуатационные и экологические показатели автомобильных двигателей, работающих в высокогорных и высокотемпературных условиях.

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 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. Глазунов Д.В. Моделирование процессов смесеобразования и сгорания в автомобильных двигателях / Д.В. Глазунов. Бишкек, 2013.
2. Орлов В.А. Исследование работы автомобильного карбюратора при различных температурных условиях / В.А. Орлов // Автомобильная промышленность. 1993. № 12.
3. 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.
4. Глазунов В.И., Глазунов Д.В. Высотная коррекция автомобильных двигателей / В.И. Глазунов, Д.В. Глазунов. Бишкек, 2000.
5. Глазунов В.И. Метод повышения эксплуатационной эффективности двигателей в высокогорных условиях / В.И. Глазунов и др. // В кн. ВКЭИ автотбустроения. Львов, 1977.