

Глазунов Д.В.

**ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ**

D.V. Glazunov

**BASED ON MATHEMATICAL MODELING OF AUTOMATED PROCESSES
CARBURETION**

УДК 621.43.019.2

В статье рассмотрены основы изменения качества горючей смеси в зависимости от увеличения температуры окружающего воздуха и уменьшения атмосферного давления. Проведены расчеты изменения объема воздуха, плотности воздуха и плотности топлива. Предложена схема стабилизации мощности коленчатого вала двигателя и рассмотрены переходные процессы этой стабилизации, применительно к горным условиям Кыргызстана.

In the article the basis of quality fuel mixture changes depending on ambient temperature increase and decrease in atmospheric pressure. Calculations Changes the volume of air in air density and the density of the fuel. A scheme for stabilizing the power of the engine crankshaft and considered transients of stabilization, with respect to mountain conditions in Kyrgyzstan.

Известно, что при повышении температуры газа на 1° (для относительно невысоких температур), его первоначальный объем увеличивается на 1/273 часть, а значит объемный вес его уменьшится на 1/273 часть. По такому же закону происходит изменение объемного веса воздуха, т.е. уменьшение весового заряда цилиндра при повышении температуры поступающего в двигатель воздуха.

Если принять, что при температуре +20°С вес поступающего в двигатель воздуха равен условной единице, например 100%, то при увеличении температуры воздуха от +20°С до +80°С, увеличение объема воздуха, согласно формулы (1) будет:

$$V_t = V_0(1 + \beta_V t^0) \quad (\text{см}^3) \quad (1)$$

где: V_0 - объем воздуха при начальной температуре,
 V_t - объем воздуха температуре $t^0\text{C}$,

β_V - объемный коэффициент расширения газа (для всех газов – 1/273 град.⁻¹).

Результаты расчетов по изменению объема воздуха в %, в зависимости от изменения его температуры, сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Изменение объема воздуха от изменения его температуры

$t_s, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80
V_t	100.0	103.65	107.3	111.0	114.7	118.4	122
% увел.	0.0	3.65	7.3	11.0	14.7	18.4	22.0

Согласно известного характеристического уравнения

$$\rho_a = \frac{P}{RT}, \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

где: P - атмосферное (барометрическое) давление, мм. рт. ст.,

R - универсальная газовая постоянная,

T - абсолютная температура воздуха, К.

можно рассчитать изменение плотности воздуха в зависимости от повышения его температуры (при атмосферном давлении $B = 760$ мм.рт.ст. – равнина, $B = 690$ мм.рт.ст. – условия г.Бишкек) и составить таблицу 2.

Таблица 2.

Изменение плотности воздуха в зависимости от повышения его температуры

$t_s, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
ρ_{es} , (кг/м ³) при $B = 760$	1.293	1.248	1.205	1.167	1.124	1.081	1.038	0.995	0.946
ρ_{es} , (кг/м ³) при $B = 690$	1.168	1.124	1.078	1.039	1.000	0.967	0.930	0.885	0.858

Из таблицы 2. видно, что с повышением температуры воздуха от 0 до +80°С его плотность уменьшается на 23%.

Изменение удельного веса бензина в зависимости от повышения его температуры, определим при помощи известной формулы:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1 + \beta_V t_T}, \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

где: γ_t - плотность при искомой температуре,

γ_0 - плотность при начальной температуре,

β_V - коэффициент объемного расширения

бензина, ($\beta_V = 0.0010$ град.⁻¹)

t_T – температура бензина, °С.

Полученные результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3.

Изменение удельного веса бензинов в зависимости от повышения его температуры

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60
γ_τ кг/м ³	725	718	710	703	696	689	683

Плотность используемого топлива, полученная расчетным путем, проверялась дополнительно с помощью денсиметров – отклонения в среднем составляли $\pm 0,30\%$. Из таблицы видно, что с изменением температуры топлива от 0 до $+60^\circ\text{C}$ его удельный вес уменьшается на 5,8%. Согласно исследованиям [1,2], с увеличением температуры топлива (до определенного предела, рассмотренного выше), происходит увеличение коэффициента расхода топлива, причем последний увеличивается быстрее, чем плотность топлива с повышением температуры:

$$\mu_{жс} = \wp \varphi_{жс} \quad (4)$$

где: $\mu_{жс}$ - коэффициент расхода топлива,

\wp - коэффициент сжатия струи (для существующих диаметров жиклеров: $\alpha = (0,6 \dots 2,5)$ мм, $\wp = (0,99 \dots 1,0)$, т.е. практически $\mu_{жс} = \varphi_{жс}$),

$\varphi_{жс}$ - коэффициент истечения топлива.

Данные изменения коэффициента расхода топлива внесем в таблицу 4.

Таблица 4.

Изменение коэффициента расхода топлива

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50
$\mu_{жс}$	0.768	0.784	0.080	0.815	0.830	0.842

Из таблицы 4 видно, что с повышением температуры топлива от 0 до $+60^\circ\text{C}$ коэффициент расхода топлива увеличивается, что, в свою очередь, вызывает увеличение расхода топлива. Это происходит вследствие уменьшения вязкости топлива, которая оказывает преобладающее влияние на количество топлива. Обобщая полученные данные по влиянию повышенных температур на плотность воздуха и топлива, и на коэффициент расхода становится очевидным, чрезмерное переобогащение приготавливаемой горючей смеси.

Имея оптимальное значение α_0 для нормальной температуры, ($+20^\circ\text{C}$), для заданного режима работы двигателя. можно определить расчетным путем действительные значения α , при повышении температуры поступающего в двигатель воздуха от $+20^\circ\text{C}$ до $+80^\circ\text{C}$, а значит и необходимый процент обеднения этих высокотемпературных α , до относительно оптимальных значений, что позволит обеспечить стабильное снижение расходов

топлива, а значит одновременно снизить токсичность отработавших газов по CO- и CH- компонентам и стабилизировать мощность двигателя.

Перед автомобилестроением стоит актуальная задача создания высокоточных автоматических систем, регулирующих состав смеси при изменении температуры поступающих в двигатель воздуха и топлива, и отвечающих самым высоким требованиям, главными из которых являются высокое быстродействие, точность системы автоматического регулирования, а также обеспечение ее устойчивой работы в широком диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя.

Рассмотрим представленную на рис. 1. структурную схему стабилизации мощности на коленчатом вале двигателя при изменении температуры поступающего в него воздуха.

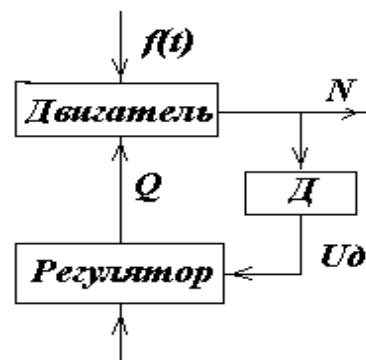


Рис. 1. Структурная схема стабилизации скорости вращения выходного вала двигателя

Данная система стабилизации работает следующим образом: например, при возрастании внешней возмущающей нагрузки меняется мощность на коленчатом вале двигателя $f(t)$ из-за изменения качества смеси Q , которое зависит в свою очередь от поступающего в карбюратор воздуха и топлива, мощность выходного вала двигателя падает, что приводит к изменению выходного сигнала U_δ датчика Д, который воздействуя на регулятор, осуществляет коррекцию состава смеси.

Дифференциальное уравнение, описывающее динамические процессы в двигателе в приращениях может быть представлено в виде [3, 4]:

$$T \frac{d\Delta N}{dt} + \Delta N = K_a \Delta Q \quad (5)$$

где T – постоянная времени двигателя, характеризующая его инерционность;

ΔN – приращение мощности коленчатого вала двигателя;

ΔQ – приращение количества смеси;

K_a – коэффициент усиления двигателя.

Если автоматический регулятор, обеспечивающий необходимый состав смеси, является

идеальным, то его уравнение может быть представлено в виде:

$$\Delta Q = -K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}\Delta N \quad (6)$$

где K_{pez} - коэффициент усиления регулятора.

Путем исключения не интересующей нас промежуточной переменной ΔQ найдем единое уравнение всей системы автоматической стабилизации мощности коленчатого вала двигателя:

$$T \frac{d\Delta N}{dt} + \Delta N = -K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}\Delta N + f(t) \quad (7)$$

Уравнение (7) после преобразований примет вид:

$$T \frac{d\Delta N}{dt} + (1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}})\Delta N = f(t) \quad (8)$$

Процесс регулирования складывается из двух частей: переходного процесса $\Delta N_{nep}(t)$ и установившегося $\Delta N_{уст}(t)$:

$$\Delta N = \Delta N_{i\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} + \Delta N_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} \quad (9)$$

Составляем характеристическое уравнение:

$$Tp + (1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}) = 0$$

$$p = -\frac{(1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}})}{T}$$

Переходный процесс, как решение однородного уравнения (8), будет экспонентной

$$\Delta N_{i\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} = Ce^{-\frac{(1+K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}})t}{T}} \quad (10)$$

где C – постоянное интегрирование, находится из заданных начальных условий.

Кривая переходного процесса для положительного значения C показана на рис. 2.

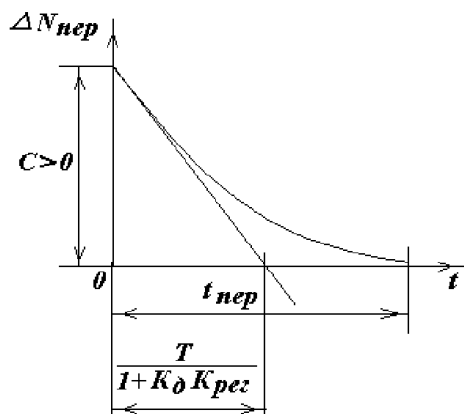


Рис. 2. График переходного процесса автоматической системы с идеальным регулятором

Объект без идеального регулятора представляется уравнением:

$$T \frac{d\Delta N}{dt} + \Delta N = f(t) \quad (11)$$

Следовательно, $\Delta N_{i\ddot{\alpha}\dot{\alpha}} = C_0 e^{-\frac{t}{T}}$ и график его переходного процесса представлен на рис. 3.

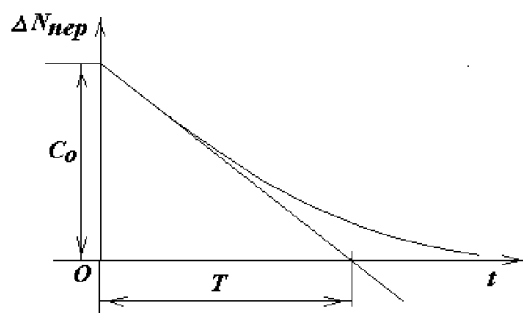


Рис. 3. График переходного процесса объекта без регулятора

Сравнение графиков на рисунках 2 и 3 позволяет сделать вывод:

$$\frac{T}{1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}} \ll T_1$$

т.е. присоединение идеального регулятора к двигателю автомобиля позволяет уменьшить его постоянную времени в $(1 + K_{\delta} K_{pez})$ раз и во столько же раз уменьшается длительность переходного процесса [3, 4].

В случае подачи скачкообразного возмущающего воздействия установившийся процесс, как частное решение уравнения (8) при $f(t) = f_0 = const$, будет

$$\Delta N_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = \frac{f_0}{1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}}$$

следовательно, статическая ошибка регулирования будет равна:

$$\Delta N_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}} = \frac{f_0}{1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}} \quad (12)$$

в то время как у объекта без регулятора $N_{cm} = f_0$.

Таким образом, присоединение регулятора уменьшает статическую ошибку – отклонение мощности выходного вала двигателя в $(1 + K_{\delta} K_{pez})$ раз.

Процесс регулирования $\Delta N(t)$ в случае мгновенного приращения f_0 будет иметь закон:

$$\Delta N = Ce^{-\frac{1+K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}t}{T}} + \frac{f_0}{1 + K_a K_{\delta\dot{\alpha}\ddot{\alpha}}}$$

Используя начальные условия: при $t=0$; $\Delta N=0$, найдем значение C .

$$C = -\frac{f_0}{1 + K_a K_{\text{ддд}}}$$

При этом условии процесс регулирования запишется в виде:

$$\Delta N = \frac{f_0}{1 + K_a K_{\text{ддд}}} (1 - Ce^{-\frac{1+K_a K_{\text{ддд}}}{T} t}) \quad (13)$$

без регулятора

$$\Delta N = f_0 (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (14)$$

Оба процесса изображены на рис. 4.

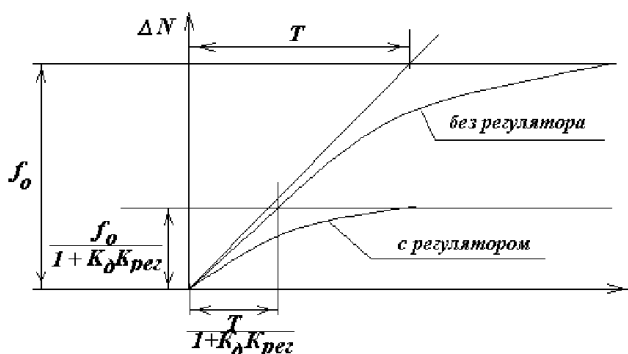


Рис. 4. График переходных процессов двигателя с регулятором и без него

В результате предварительных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Применение идеального автоматического регулятора к двигателю повышает быстродействие протекания переходных процессов в $(1 + K_d K_{\text{пер}})$ раз и в то же время статистическая ошибка регулирования уменьшается в столько же раз;
2. Для получения высоких динамических показателей качества необходимо по возможности увеличить коэффициенты усиления двигателей K_d и особенно автоматического регулятора $K_{\text{рег}}$, в которые входят параметры их элементов;
3. Предлагаемая система стабилизации мощности двигателя автомобиля, работающего в условиях высокогорья, применима для всех автомобилей.

Литература:

1. Глазунов В.И. Глазунов Д.В. Влияние повышенных температур окружающего воздуха на показатели работы автомобильного карбюраторного двигателя // Известия Кыргызского Государственного технического университета им. И.Раззакова. -2004. - №6. -с.29-32.
2. Глазунов Д.В. Бекетаев О.Б. Глазунов В.И. Исследование влияния повышенных температур воздуха и топлива на смесеобразование // Наука и новые технологии. -2003. -№3. -с.105-109.
3. Панкратов В.В. Специальные разделы теории автоматического управления: Учеб. пособие / Панкратов В.В., Нос О.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005
4. Основы линейной теории автоматического управления в задачах электроэнергетики: Учебное пособие к компьютерным лабораторным практикумом АОС-ТАУ/ В.Ф. Коротков; Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново, 1994. - 392с.

Рецензент: д.ф-м.н., профессор Асанов А.