

УДК 629.13

КРИВОШАПОВ С.И., к.т.н., доцент, ХНАДУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ НА СТЕНДЕ С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ

Рассмотрены математические зависимости определения расхода топлива транспортных машин на стенде с беговыми барабанами. Получен критерий соответствия нагрузочного режима дорожного и стендового испытаний. Приведены графические зависимости топливной экономичности на дороге и на имитационном стенде. Разработана схема автоматизированной системы управления и сбором информации на стенде с беговыми барабанами.

Введение. Украина и весь мир переживает очередную волну энергетического кризиса, из-за которого цены на горюче-смазочные материалы постоянно растут. На этапе проектирования и изготовления автомобиля закладываются основные качества машины, одним из которых является топливная экономичность. В процессе эксплуатации расход топлива повышается. Более 70 % неисправностей [1] агрегатов автомобиля приводит к повышению расхода топлива или к снижению мощности транспортного средства. Поэтому, расход топлива – основной комплексный показатель работоспособности машины и основной критерий эффективности конструкции и эксплуатации автомобиля.

Анализ последних достижений и публикаций. Согласно [2] для автомобилей эксплуатируемых на территории Украины должна быть установлена базовая (основная) норма расхода топлива. Такая норма может быть получена экспериментальным или аналитическим методом. Экспериментальное определение расхода топлива может осуществляться в дорожных условиях или на специализированных стендах с беговыми барабанами [3]. Стендовые испытания имеют ряд преимуществ: может быть размещено в отдельном помещении и не требует специализированного участка дороги, обеспечиваются постоянные условия качения колеса по опорной поверхности, удобство размещения измерительного оборудования, возможность более широкого выбора нагрузочно-скоростного режима «движения» автомобиля. Однако условия движения автомобиля на дороге и на стенде отличаются.

Разработаны несколько методов аналитического определения расхода топлива: по удельным показателям [4], метод 4-х КПД [5], по «шуму ускорений» [6]. Данные методики применимы к дорожным условиям эксплуатации автомобиля. При определении расхода топлива на имитационном стенде с беговыми барабанами необходимо учесть особенности конструкции стенда и нагрузочно-приводного устройства, а также режим «движения» автомобиля на стенде.

Цели и постановка задачи. Целью работы является разработка аналитического и экспериментального метода определения расхода топлива на имитационном стенде с беговыми барабанами. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: совершенствовать методику расчета расхода топлива с учетом «движения» автомобиля на стенде; получить критерий подобия стендовых и дорожных испытаний; разработать схему автоматизированной системы управления и измерения расхода топлива на стенде с беговыми барабанами.

Математическое моделирование расхода топлива. Расход топлива автомобиля при «движении» на стенде с беговыми барабанами можно записать следующей зависимостью [7]:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \cdot [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_s \cdot f_{\bar{o}} + P_{\bar{o}} + P_m)] \text{ л/100 км,} \quad (1)$$

где η_i - индикаторный КПД двигателя;

A, B, C - постоянные коэффициенты, зависящие от конструкции автомобиля;

i_k - средневзвешенное передаточное число коробки передач;

V_a - скорость автомобиля на стенде, км/ч;

G_s - вес автомобиля, приходящийся на стенд, Н;

$f_{\bar{o}}$ - коэффициент сопротивления качению колеса на беговых барабанах;

$P_{\bar{o}}$ - усилие, затрачиваемое на преодоление трения в механизмах стенда, Н;

P_m - усилие, поглощаемое тормозом стенда, Н.

Значение коэффициентов A, B, C рассчитываются по формулам:

$$A = \frac{7.95 \cdot V_h \cdot a_m \cdot i_0}{H_H \cdot \rho_t \cdot r_k}, \quad B = \frac{0.69 \cdot V_h \cdot B_n \cdot b_m \cdot i_0^2}{H_H \cdot \rho_t \cdot r_k^2}, \quad C = \frac{100}{H_H \cdot \rho_t \cdot \eta_{mp}}, \quad (2)$$

где V_h - рабочий объем двигателя, л;

a_m, b_m - коэффициенты механических потерь в двигателе;

i_0 - передаточное число главной передачи;

H_H - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

ρ_t - плотность топлива, г/см³;

r_k - радиус колеса, м;

B_n - ход поршня, м;

η_{mp} - КПД трансмиссии.

Среднее передаточное число коробки передач определяется:

$$i_k = \frac{n_M \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{n_N \cdot V_a}, \quad (3)$$

где n_M - частота вращения коленвала двигателя при максимальном крутящем моменте, мин⁻¹;

n_N - частота вращения коленвала двигателя при максимальной мощности, мин⁻¹;

$V_{\max}$ - максимальная скорость автомобиля, км/ч;

i_{kp} - передаточное число коробки передач высшей передачи.

Для примера рассчитаем расход топлива автомобиля ГАЗ-2307 при следующих исходных данных: $i_{kp}=0.849$, $n_N=4500$ мин⁻¹, $n_M=3500$ мин⁻¹, $H_H=43000$ кДж/кг,

$\rho_t=0.76 \text{ г/см}^3$, $f_6=0.028$, $\eta_{mp}=0.89$, $N_{\max}=72.2 \text{ кВт}$, $V_{\max}=115 \text{ км/ч}$, $V_h=2.23 \text{ л}$, $i_0=5.125$, $M_a=2050 \text{ кг}$, $B_n=0.086 \text{ м}$, $r_k=0.31 \text{ м}$, $\eta_i=0.32$, $a_m=45 \text{ кПа}$, $b_m=13 \text{ кПа}\cdot\text{с/м}$. Коэффициент перераспределения веса автомобиля $\beta=0.5$. Рассчитаем расход топлива на стенде при скорости $V_a=50 \text{ км/ч}$, стенд оказывает тормозное усилие $P_m=1.2 \text{ кН}$.

Автомобиль при скорости 50 км/ч на дороге будет двигаться со средним передаточным числом коробки передач равным $i_k = \frac{3500 \cdot 115 \cdot 0.849}{4500 \cdot 50} = 1.5$. Значение

коэффициентов A , B , C из формулы (2) будет следующим: $A=0.395$, $B=0.014$, $C=0.00336$. Тогда расход топлива автомобиля ГАЗ-3207 на стенде с беговыми барабанами по формуле (1) равняется $Q=17.6 \text{ л/100 км}$.

На рисунке 1 приведен график расхода топлива автомобиля ГАЗ-2307 при различной силе тормозного устройства стенда и скорости движения. На график стендовых испытаний автомобиля наложен график расхода топлива на дороге. В точках пересечения графиков выполняется условия идентичности дорожных и стендовых испытаний.

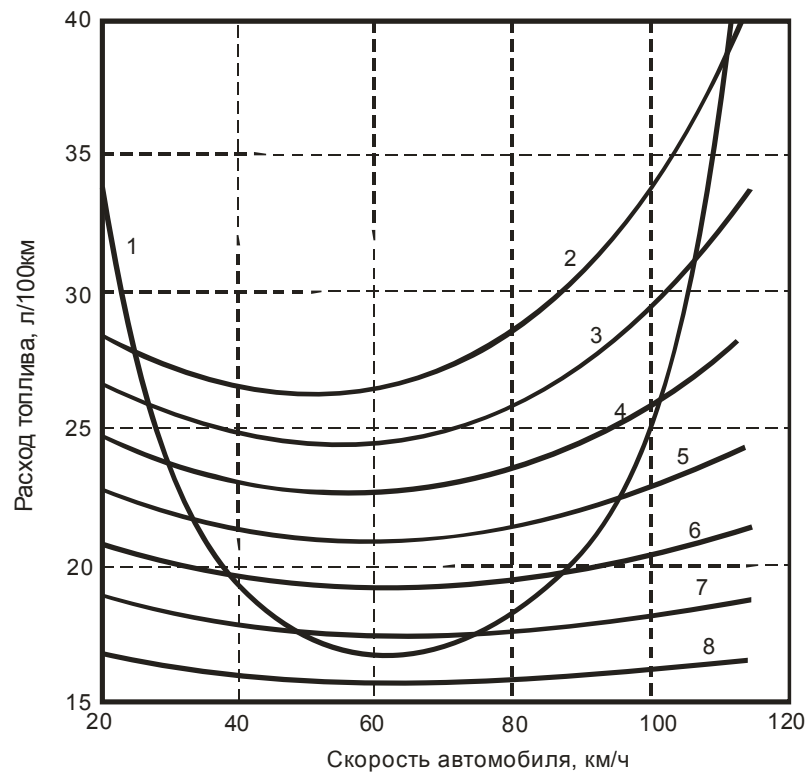


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива от скорости движения:

1 - на дороге, 2 – на стенде при $P_m = 2.2 \text{ кН}$, 3 – на стенде при $P_m = 2.0 \text{ кН}$, 4 – на стенде при $P_m = 1.8 \text{ кН}$, 5 – на стенде при $P_m = 1.6 \text{ кН}$, 6 – на стенде при $P_m = 1.4 \text{ кН}$, 7 – на стенде при $P_m = 1.2 \text{ кН}$, 8 – на стенде при $P_m = 1.0 \text{ кН}$

Изменяя тормозную силу на нагрузочном устройстве стенда можно добиться идентичности дорожных и стендовых испытания на всем диапазоне скоростей.

Критерий подобия дорожных и стендовых испытаний. Согласно требованиям [3] стенд должен быть оборудован регулировочным устройством, позволяющим имитировать инерционные сопротивления при разгоне АТС. Тогда тормозная сила на беговых барабанах должна удовлетворять следующему условию

$$G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 = G_z \cdot f_{\phi} + P_{\phi} + P_m, \quad (4)$$

где G_a - вес автомобиля, Н;

ψ - коэффициент суммарного дорожного сопротивления;

kF - фактор обтекаемости, Н·с²/м².

Тогда тормозное усилие на барабанах стенда должно подчиняться закону

$$P_m = G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 - G_z \cdot f_{\phi} - P_{\phi} \quad \text{Н.} \quad (5)$$

Если стенд не способен регулировать тормозную силу на барабанах, то можно ввести поправочный коэффициент подобия дорожных и стендовых испытаний

$$K = \frac{A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2)}{A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_z \cdot f_{\phi} + P_{\phi} + P_m)} \quad (6)$$

На рисунке 2 приведен график изменения коэффициента подобия дорожных и стендовых испытаний для автомобиля ГАЗ-2307.

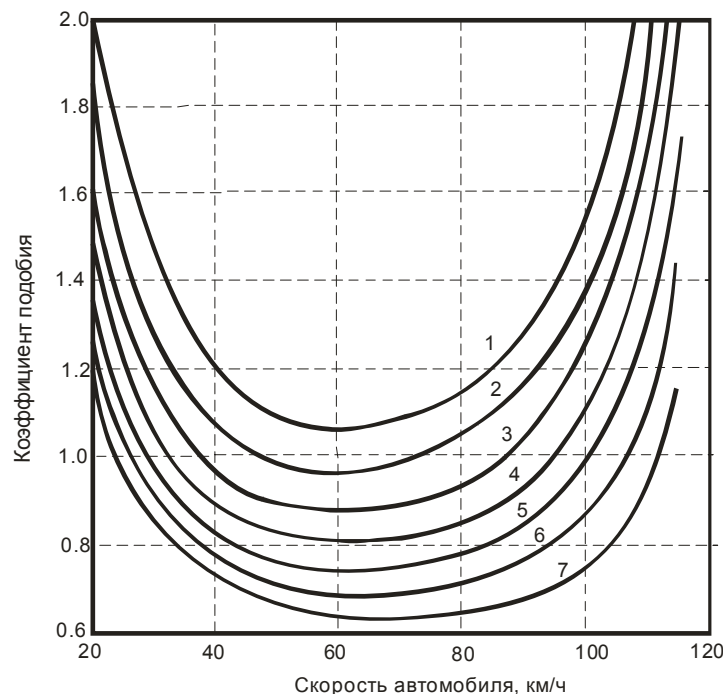


Рисунок 2 – График изменения коэффициента подобия в зависимости от скорости автомобиля:

1 – при $P_m = 1$ кН, 2 – при $P_m = 1.2$ кН, 3 – при $P_m = 1.4$ кН, 4 – при $P_m = 1.6$ кН, 5 – при $P_m = 1.8$ кН, 6 – при $P_m = 2$ кН, 7 – при $P_m = 2.2$ кН

Данный график или зависимость коэффициента подобия может быть использована для стендов, которые не оборудованы программно-регулируемой тормозной нагрузки на беговых барабанах.

Требования к имитационным стендам и измерительной аппаратуры. Измерение расхода топлива рекомендуется производить на тягово-скоростном стенде с беговыми барабанами [1]. Данный стенд должен быть оснащен регулируемым нагрузочным устройством, расходомером топлива (для систем топливоподачи с возвратом топлива в бак необходимо использовать два расходомера: на прямую и обратную магистраль), аппаратурой для измерения скорости и нагрузки на беговых барабанах; устройством управления подачей топлива и тормозной нагрузки на беговых стенда. Управление режимами «движения» и «нагружения» автомобиля на стенде целесообразно производить через микропроцессор или ПЭВМ. Информацию с датчиков передавать на компьютер через плату сбора информации.

На рисунке 3 изображена схема измерения расхода топлива на стенде с беговыми барабанами.

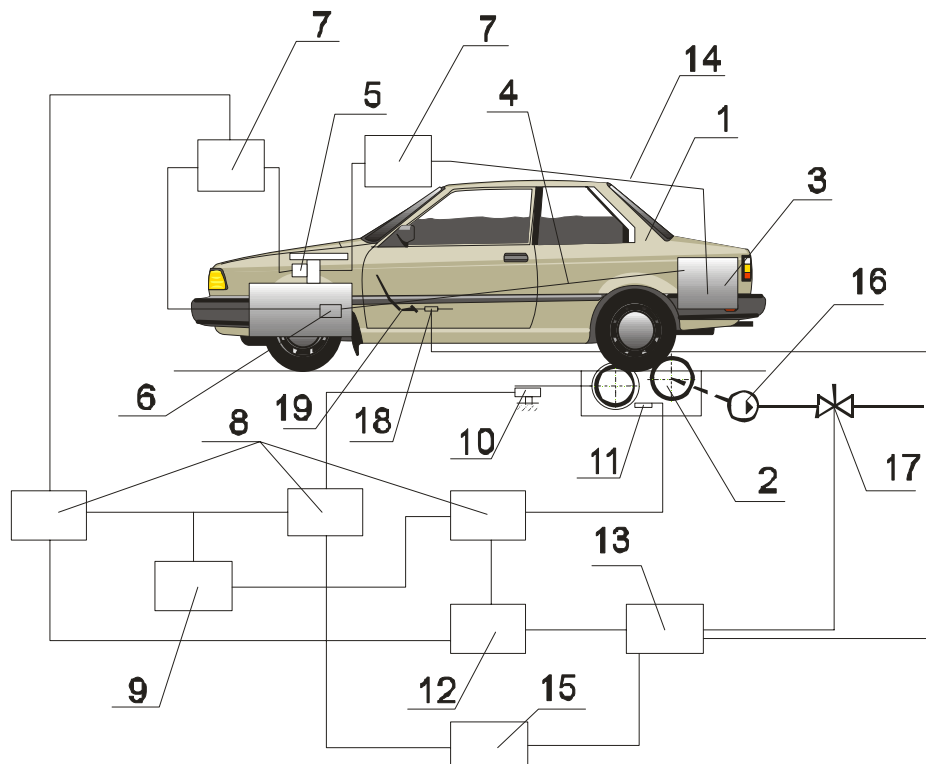


Рисунок 3 – Схема измерения расхода топлива на стенде с беговыми барабанами:
 1 – автомобиль; 2 - стенд с беговыми барабанами; 3 - автомобильный топливный бак; 4 - топливopровод; 5 – карбюратор (инжектор); 6 - топливный насос; 7 - расходомер топлива; 8 - усилители электрического сигнала; 9 - источник электрического питания; 10 - тензометрический датчик крутящего момента; 11 - датчик измерения угловой скорости колеса; 12 – АЦП; 13 – ПЭВМ; 14 – топливopровод обратного направления (обратка); 15 – плата сбора цифровой информации; 16 – гидравлический насос-мотор; 17 – электромагнитный золотник; 18 – сервопривод или шаговый двигатель; 19 – педаль акселератора.

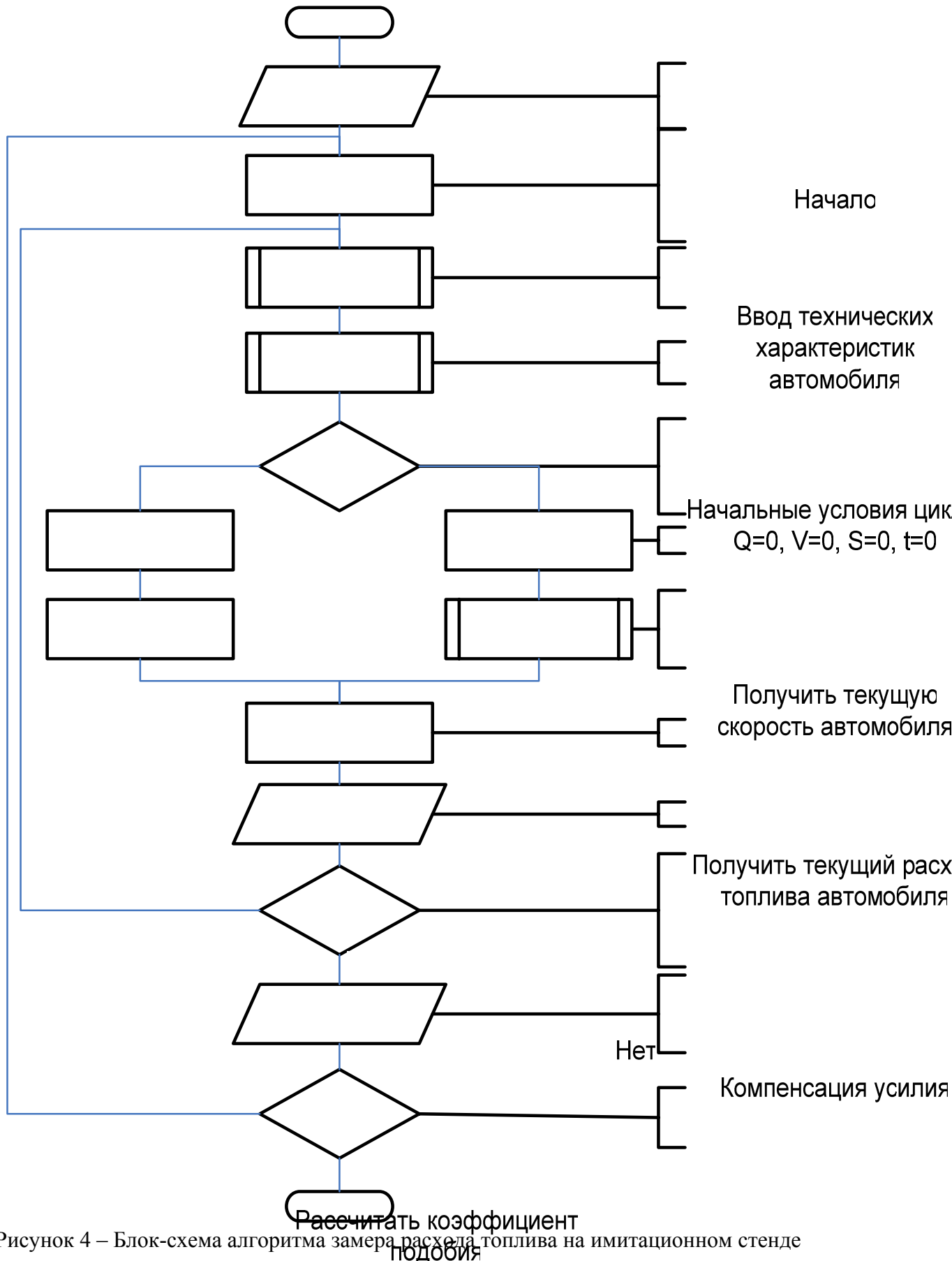


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма замера расхода топлива на имитационном стенде

Предлагается использовать следующее оборудование:

- расходомер топлива – поршневого, объемного типа;
- датчик скорости – оптический, с встроенным усилителем и развязкой;
- датчик нагрузки на барабанах – тензометрическая балка с тензодатчиками, со встроенным усилителем и компенсацией,
- устройство подачи топлива – шаговый двигатель или сервопривод;
- регулятор тормозной силы на барабанах – управляемый гидравлический кран.

Расход топлива и скорость автомобиля определяется частотой, а нагрузка - уровнем выходного сигнала с датчиков. Для ввода информации с датчиков на ПЭВМ используются плата ЦАП и плата цифрового ввода.

Программа управления реализует следующие алгоритмы:

- регистрация хранения и визуализация текущего и суммарного расхода топлива;
- контроль скорости в соответствии с программой испытательного цикла [3];
- управление подачей топлива в зависимости от необходимой скорости «движения» автомобиля на стенде;
- управление тормозной нагрузки в зависимости от скорости вращения беговых барабанов.

Алгоритм процедуры и программы замера расхода топлива на стенде с беговыми барабанами приведен на рис. 4.

Если стенд не позволяет изменять тормозную силу на беговых барабанах, то программа реализует алгоритм коррекции расхода топлива по зависимости коэффициента подобия дорожных и стендовых испытаний.

Выводы. Приведенные зависимости расчета и корректировки расхода топлива на стенде с беговыми барабанами позволяют более точно оценить топливную экономичность автомобиля при стендовых испытаниях и сравнить их значения с данными, полученными на дороге или полигонах. Схема стенда позволяет реализовать проверку расхода топлива на стенде с беговыми барабанами в соответствии с требованиям стандарта [3].

Список литературы: 1. Говорущенко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта: Учебное пособие. / Н.Я. Говорущенко, В.Н. Варфоломеев. - Харьков: ХГАДТУ, 2001. - 271 с. 2. Нормы расхода топлива для автомобилей, нормы ресурса шин и аккумуляторов. – К.: Фактор - Видавничий будинок, 2009. – 528 с. 3. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний; Дата введения 1 января 1992 года. 4. Говорущенко Н.Я. Алгоритм оценки топливной экономичности транспортных машин по удельным показателям. / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Девета научно-техніческа конференція з міжнародно участіе “Транспорт, екологія – устійчиво розвитие” (15-17 май 2003). – Болгарія, Варна: Технічески университет, 2003. – С. 188-194. 5. Говорущенко Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива транспортных машин (метод четырех КПД). / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Автомобильный транспорт : Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2004. - № 15. 6. Говорущенко Н.Я. Методика нормирования расхода топлива и выбросов. / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов. // Сборник докладов XIV научно-технической конференции с международным участием "Транспорт, экология - устойчивое развитие" - Болгарія, Варна: ТУ, 2008. 7. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта. / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. - Изд. 2-е, перераб. и подолн. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.