

ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДВС

Карнаухов В.Н.

ФГБОУВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 48), e-mail: karnauhov1948@yandex.ru

Согласно оценкам Международного энергетического агентства, приоритетным направлением снижения выбросов диоксида углерода автомобилями является повышение их топливной экономичности. Задача снижения выбросов CO₂ путем повышения топливной экономичности автотранспорта является для мирового сообщества одной из приоритетных, учитывая необходимость рационального использования не возобновляемых источников энергии. С этой целью постоянно ужесточаются международные стандарты, лимитирующие показатели пуска и эксплуатации двигателя в условиях низких и даже высоких температур окружающей среды. В статье рассмотрен вопрос топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания в зависимости от температуры, давления, влажности окружающего воздуха. Приведены результаты исследования по поддержанию постоянной температуры во впускном коллекторе ДВС с целью экономии топлива и определению оптимальной мощности нагревательного элемента.

Ключевые слова: оптимальная температура воздуха во впускном коллекторе, экономия топлива, подогрев воздуха, температура окружающего воздуха, мощность нагревательного элемента.

OPTIMIZATION POWER OF HEATING ELEMENTS TO MAINTAIN OPTIMUM TEMPERATURE OF AIR IN MANIFOLD OF ENGINE

Karnaukhov V.N.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia (48, Volodarskogo St., Tyumen, 625000), e-mail: karnauhov1948@yandex.ru

According to estimates of the International Energy Agency, a priority of reducing the carbon dioxide emissions of vehicles is to improve their fuel economy. The reduction of CO₂ emissions by improving the fuel economy of vehicles for the world community is a priority, given the need for the rational use of energy not renewable sources. To this purpose, international standards constantly tightened limiting rates starting in low or even high-temperature environment. In the article the question of fuel efficiency of internal combustion engines, depending on the temperature, pressure and humidity of the ambient air. The results of the study to maintain a constant temperature in the intake manifold engine to save fuel and to determine the optimum power of the heating element.

Keywords: optimal air temperature in the intake manifold, fuel economy, heating of the air, ambient temperature, power of the heating element.

Введение

Развитие электроники и микропроцессорной техники привело к широкому внедрению ее на автомобили. В частности, к созданию электронных систем автоматического управления двигателем, трансмиссией ходовой частью и дополнительным оборудованием. Применение электронных систем для управления (ЭСУ) двигателем позволяет снизить расход топлива и токсичности отработанных газов с одновременным повышением мощности двигателя, повысить приемистость и надежность холодного пуска. Современные ЭСУ объединяют в себе функции управления впрыском топлива и работой системы зажигания. Для реализации программного управления в блоке управления записывается зависимость длительности впрыска (количество подаваемого топлива) от нагрузки и частоты вращения коленчатого

вала двигателя. Зависимость задается в виде таблицы, разработанной на основе всесторонних испытаний двигателя аналогичной модели. Подобные таблицы используются и для определения угла зажигания. Эта система управления двигателем используется во всем мире, потому что выбор данных из готовых таблиц является наиболее быстрым процессом, чем выполнение вычислений при помощи ЭВМ. Полученные по таблицам значения корректируются бортовыми компьютерами автомобилей в зависимости от сигналов датчиков положения дроссельной заслонки, температуры воздуха, его давления и плотности. Основным отличием данной системы, применяемой в современных автомобилях, является отсутствие жесткой механической связи между дроссельной заслонкой и педалью акселератора, ею управляющей. В сравнении с традиционными системами, ЭСУ позволяет снизить расход топлива на различных автомобилях до 20 % [5].

Низкое потребление топлива достигается путем различной организации двух основных режимов работы ДВС: режима малой нагрузки и режима высокой нагрузки. При этом двигатель в первом режиме работает с неоднородной смесью, большим избытком воздуха и поздним впрыском топлива, благодаря чему достигается расслоение заряда из смеси воздуха, топлива и оставшихся отработанных газов, в результате чего он работает на бедной смеси. На режиме высокой нагрузки двигатель начинает работать на гомогенной смеси, что приводит к уменьшению выбросов вредных веществ в отработанных газах. Токсичность выброса при применении ЭСУ дизельными двигателями при пуске позволяют снизить различные свечи накаливания. ЭСУ получает информацию о температуре воздуха на впуске, давлении, расходе топлива и положении коленчатого вала. Блок управления обрабатывает информацию от датчиков и, используя характеристические карты, выдает значение угла опережения подачи топлива. С целью учета изменения плотности поступающего воздуха при изменении его температуры датчик расхода оснащен терморезистором. Но в результате колебаний температуры и давления воздуха во впускном коллекторе, несмотря на вышеперечисленные датчики, происходит мгновенное изменение плотности воздуха и, как следствие, уменьшение или увеличение поступления кислорода в камеру сгорания.

Цель, задачи и метод исследования

В Тюменском государственном нефтегазовом университете были проведены исследования с целью поддержания постоянной температуры во впускном коллекторе ДВС КАМАЗ-740, ЯМЗ-236 и D4FB (1.6 CRDi) автомобиля Киа Сид, MZR2.3-L3T - Мазда CX7. При этом температурные колебания воздушной массы учитывались температурными датчиками. Обеспечение нормальной (оптимальной) температуры воздуха во впускном коллекторе должно выполняться при всех возможных эксплуатационных режимах: пуске

холодного двигателя, работе на малых и высоких нагрузках, при работе в условиях низких температур окружающей среды.

В современных быстроходных двигателях суммарная величина теплообмена оказывается незначительной и составляет около 1 % [4] от всего количества тепла, выделенного при сгорании топлива. Увеличение температуры подогрева воздуха во впускном коллекторе до 67 °С приводит к уменьшению интенсивности теплообмена в двигателях, то есть уменьшению ΔT и увеличению коэффициента наполнения. η_v (рис.1)

$$\Delta T = T_n - T_v \quad (1)$$

где ΔT – разность температур воздуха во впускном коллекторе (°К), T_n – температура нагрева воздуха во впускном коллекторе, T_v – температура воздуха во впускном коллекторе.

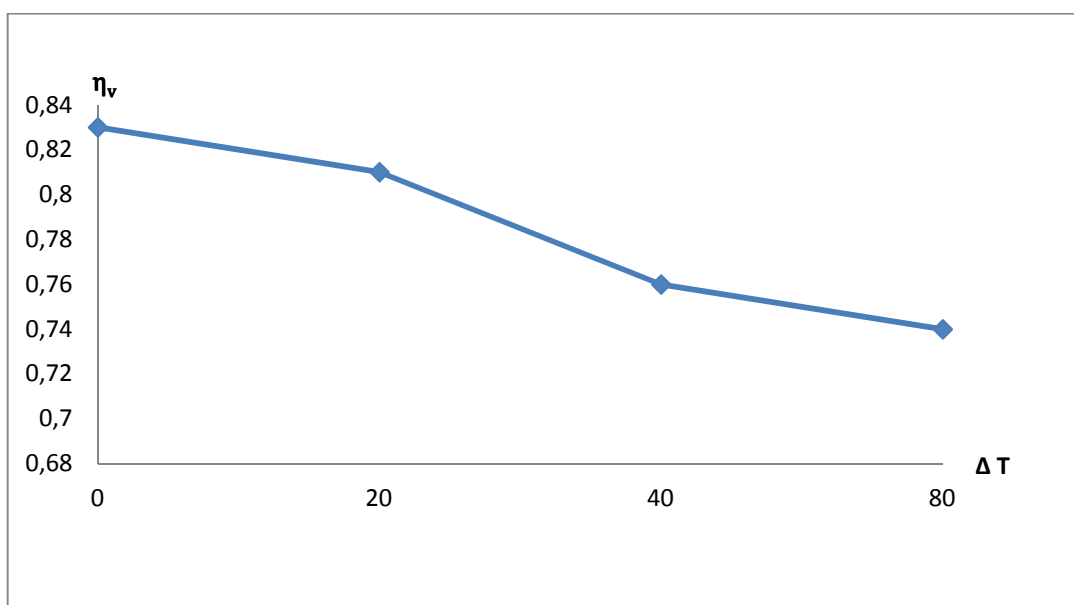


Рис. 1. График влияния температуры подогрева воздуха на коэффициент наполнения (на примере двигателя КАМАЗ-740)

Однако подогрев воздуха более 67 °С не приводит к росту η_v в связи с тем, что плотность воздуха при этом уменьшается. Полученные экспериментальные данные показали, что воздух у дизельных двигателей без наддува во время его работы имеет интервал температур $\Delta T=23\div 36^\circ\text{C}$. Испытаниями было подтверждено, что для ДВС, работающих на жидком топливе, разница в величине коэффициента наполнения η_v , рассчитанного из условий, что свежим зарядом является воздух или топливовоздушная смесь, незначительна и составляет менее 0,5 % [1], поэтому для всех типов двигателей η_v определяется по воздуху.

Изменение температуры, давления и влажности воздуха сказывается на мощности любого двигателя и колеблется в интервале $N_e=10\div 15\%$ (N_e – эффективная мощность двигателя).

Повышение аэродинамического сопротивления воздуха во впускном коллекторе объясняется следующими параметрами:

1. Повышенной плотностью воздуха.
2. Изменением вязкости воздуха.
3. Характером поступления воздуха в камеру сгорания.

Многочисленными исследованиями доказано, что высокая температура воздуха во впускном коллекторе увеличивает расход топлива незначительно. В то же время низкая температура увеличивает его расход до 15–20 %, поэтому исследования проводились при температуре наружного воздуха $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и его нагреве до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ во впускном коллекторе. Оптимальной по расходу топлива является температура воздуха во впускном коллекторе $15\div 67\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследования и анализ

Во время испытаний была определена мощность нагревательного элемента для обеспечения поддержания определенной температуры во впускном коллекторе ДВС. На первой стадии определено количество тепла, необходимого для нагрева воздуха массой 1 кг при постоянной температуре и давлении воздуха, для этого примем: 1. Температура окружающего воздуха $t_1 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. 2. Температура во впускном коллекторе $t_2 = +70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Количество необходимого тепла находим по уравнению:

$$q = C_p(t_2 - t_1) \quad (2)$$

где C_p – массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении, определяется по таблице и для воздуха при температуре от 0 до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$C_p = 1,005 \frac{\text{КДж}}{\text{кг} \cdot \text{C}}$$

$$q = 110550 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Количество тепла для большей массы воздуха определяется по формуле:

$$Q = n \cdot q \quad (3)$$

где n – объем воздуха в кг, необходимого для нагрева при работе двигателя.

При работе ДВС на оборотах более 5000 об/мин расход воздуха легковых автомобилей достигает 55–60 кг/час, а грузовых – 100 кг/час. Тогда:

$$Q_{\text{легковых}} = 6080 \frac{\text{КДж}}{\text{час}}$$

$$Q_{\text{грузовых}} = 11055 \frac{\text{КДж}}{\text{час}}$$

Мощность нагревателя определяем по формуле:

$$N = \frac{Q}{\tau} \quad (4)$$

где Q – количество тепла, затраченное на нагревание воздуха в Дж, N – мощность нагревательного элемента в Вт, τ – время в сек.

Необходимо определить мощность нагревательного элемента в секунду, поэтому формула примет вид:

$$N_{\text{легковых}} = 1,7 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{грузовых}} = 3,1 \text{ кВт}$$

$N=1,7$ кВт – мощность нагревательного элемента для легковых автомобилей и при расходе воздуха более 100 кг/час для грузовых - $N=3,1$ кВт.

Ранее Карнаухова И.В. и автором была выведена формула определения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$), поступающего в цилиндры ДВС с учетом влажности, давления, плотности воздуха:

$$t = \frac{P_{\text{мп}} \cdot T_{\text{мп}}}{T_0 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \quad (5)$$

где $T_{\text{тр}}$ – температура во впускном трубопроводе, $P_{\text{тр}}$ – давление в Па во впускном трубопроводе, T_0 – , ρ_0 – плотность воздуха, R_g – универсальная газовая постоянная воздуха.

Подставляя формулу (5) в формулу (2), получаем:

$$q = C_p \left[t_2 - \left(\frac{P_{\text{мп}} \cdot T_{\text{мп}}}{T_0 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \right) \right] \quad (6)$$

Далее определяем количество тепла, необходимое для нагрева всей массы воздуха, проходящего через впускной коллектор. Подставляя формулу (5) в формулу (3), получаем:

$$Q = n \cdot C_p \left[t_2 - \left(\frac{P_{\text{мп}} \cdot T_{\text{мп}}}{T_0 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \right) \right] \quad (7)$$

Мощность нагревателя в секунду определим по формуле (4) с учетом формулы (5):

$$N = \frac{n \cdot C_p \left[t_2 - \left(\frac{P_{\text{мп}} \cdot T_{\text{мп}}}{T_0 \cdot \rho_0 \cdot R_g} - 273 \right) \right]}{3600 \cdot \tau} \quad (8)$$

Результаты расчетов количества тепла, необходимого для нагрева воздуха массой 1 кг со средним расходом воздуха для легковых автомобилей более $V=55$ кг/час и для грузовых – более $V=100$ кг/час, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Таблица определения количества тепла для нагрева воздуха во впускном коллекторе в зависимости от наружной температуры воздуха

$t^{\circ}\text{C}$	$V>55$ кг/час		$V>100$ кг/час	
	Q, кДж	Q, кДж/сек	Q, кДж	Q, кДж/сек

-50	6633	1,84	12060	3,35
-40	6080	1,69	11055	3,07
-30	5528	1,54	10050	2,79
-20	4975	1,38	9045	2,51
-10	4422	1,23	8040	2,23
0	3869	1,07	7035	1,95
10	3317	0,92	6030	1,68
20	2764	0,77	5025	1,40
30	2211	0,61	4020	1,12
40	1658	0,46	3015	0,84
50	1106	0,31	2010	0,56

На основании данных таблицы 1 построен график (рис. 2) количества тепла Q в секунду, затраченного на подогрев воздуха до оптимальной температуры. На графике видно, что чем выше температура воздуха, тем меньшее количество тепла необходимо для поддержания оптимальной температуры во впускном коллекторе, вне зависимости от объема воздуха.

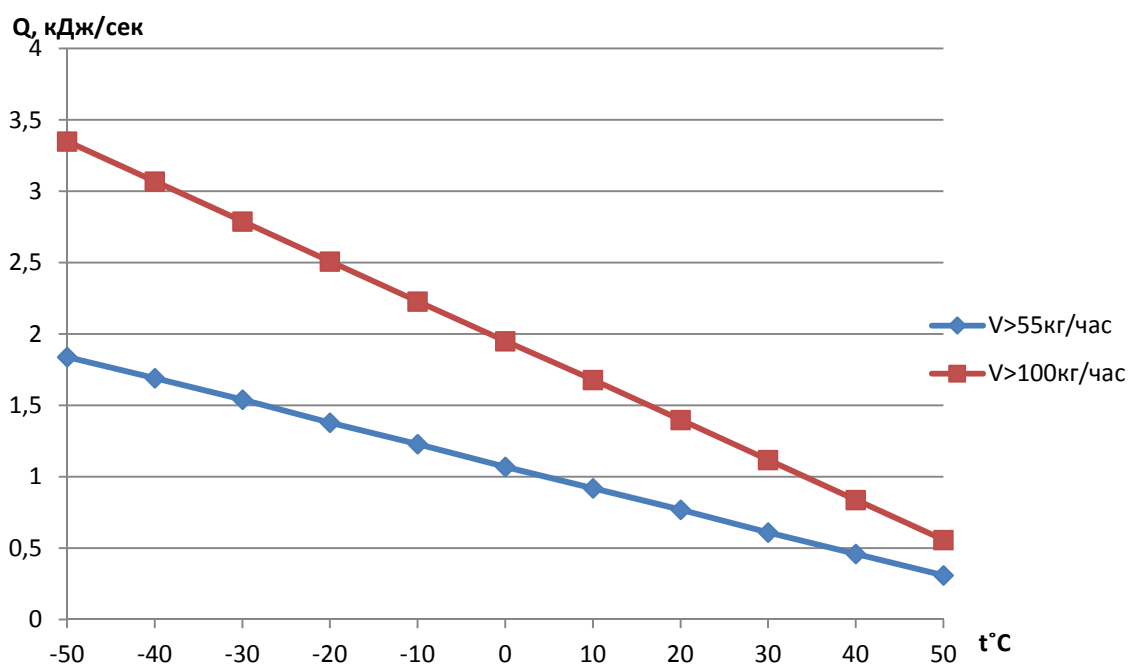


Рис. 2. Количество тепла Q в секунду, затраченного на подогрев воздуха до оптимальной температуры

Таблица 2

Расчет времени нагрева различных объемов воздуха

N, кВт	Q_1 , кДж/сек	τ_1 , сек	Q_2 , кДж/сек	τ_2 , сек
1	1690	1,69	3070	3,07

2	1690	0,85	3070	1,54
3	1690	0,56	3070	1,02
4	1690	0,42	3070	0,77
5	1690	0,34	3070	0,61

Время определено по формуле $\tau_{сек} = Q/N$ при температуре наружного воздуха $> 40^{\circ}\text{C}$, Q_1 при расходе воздуха $V > 55$ кг/час и $Q_2 - V > 100$ кг/час

Далее по таблице 2 построен график времени нагрева воздуха до $+70^{\circ}\text{C}$ в коллекторе ДВС при различной мощности нагревателя. На графике видно, что независимо от времени нагрева при повышении мощности нагревателя время нагрева разных объемов воздуха выравнивается.

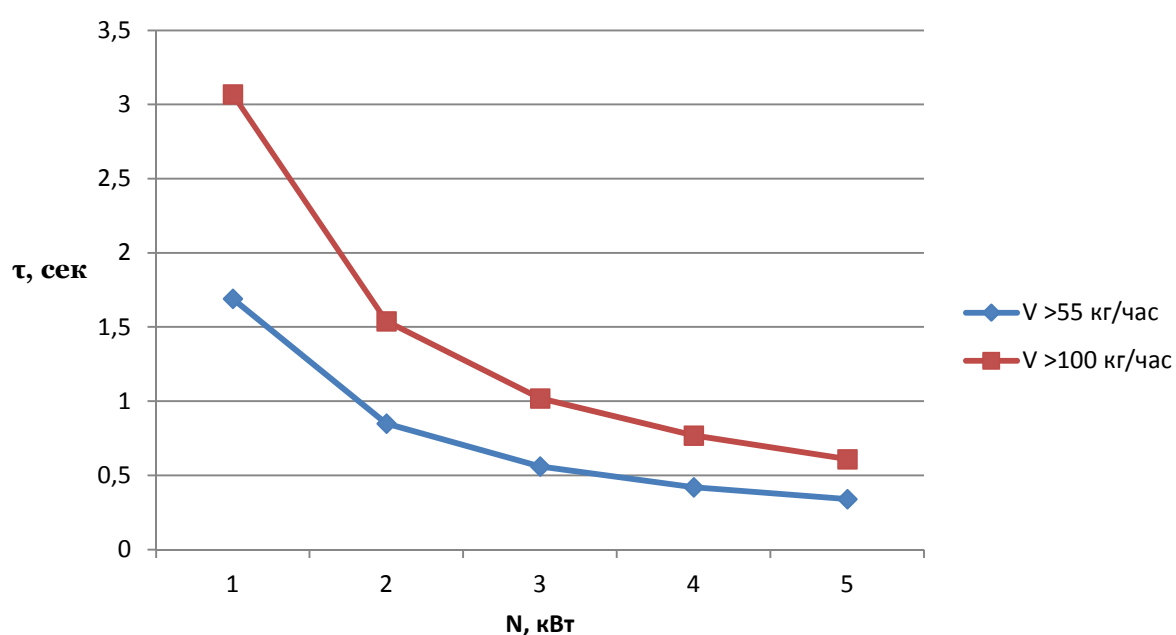


Рис. 3. Время нагрева воздуха до температуры $+70^{\circ}\text{C}$.

Заключение

На основании расчетов и экспериментов установлено, что наиболее экономичным является использование нагревателей переменной мощности для поддержания заданной температуры во впускном коллекторе с целью получения экономии топлива до 25–30 %.

Список литературы

1. Автомобильные двигатели. В.М. Архангельский [и др.]; отв. ред. М.С. Ховах. М.: Машиностроение, 1977. 591 с.

2. Карнаухов В.Н., Карнаухова И.В. Определение коэффициента наполнения в ДВС // Транспортные и транспортно-технологические системы, материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 16 апреля 2014г. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2014.
3. Ленин И.М. Теория автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 1976. 364 с.
4. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. М: Изд-во Горячая линия-Телеком, 2009. 440 с.
5. Ютт В.Е., Рузавин Г.Е. Электронные системы управления ДВС и методы их диагностирования. М.: Изд-во Горячая линия-Телеком, 2007. 104 с.

Рецензенты:

Резник Л.Г., д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Транспортные и технологические системы» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.

Захаров Н.С., д.т.н., профессор, действующий член Российской академии транспорта, заведующий кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.