

# **Методические указания по курсовой работе**

**по дисциплине «Основы научно-  
исследовательской деятельности»**

## **Введение**

Курсовая работа по дисциплине «Основы научно-исследовательской деятельности» посвящена оценке энергетической эффективности и топливной экономичности легкового автомобиля. Целью курсовой работы является расчётная оценка показателей, характеризующих энергетическую эффективность двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и легкового автомобиля, а также их топливную экономичность.

В ходе выполнения курсовой работы необходимо:

- расчётным путем построить внешнюю скоростную характеристику бензинового ДВС;
- определить тепловой баланс ДВС на режимах, соответствующих внешней скоростной характеристике;
- рассчитать силовой и мощностной баланс автомобиля при движении по горизонтальной дороге с постоянными скоростями;
- определить показатели энергетической эффективности и топливной экономичности легкового автомобиля;
- предложить мероприятия по улучшению топливной экономичности автомобиля и проанализировать их эффективность.

### **1. Содержание курсовой работы**

Курсовая работа должна состоять из шести разделов:

1. Введение.
2. Описание объекта исследования и исходных данных.
3. Оценка энергетической эффективности двигателя внутреннего сгорания (ДВС).
4. Оценка энергетической эффективности автомобиля.
5. Мероприятия по повышению топливной экономичности автомобиля и анализ их эффективности.
6. Выводы по курсовой работе.

Пример титульного листа для оформления курсовой работы представлен в прил. 1.

## 2. Объект исследования и исходные данные

В качестве объектов исследования выбраны легковые автомобили отечественного производства. Во втором разделе курсовой работы необходимо привести краткое описание автомобиля, соответствующего варианту задания. Например, для автомобиля УАЗ-23632 – пикап, двухосный, повышенной проходимости, типа 4x4, с четырехдверной кабиной и грузовым отсеком. Автомобиль УАЗ-23632 оборудован четырехцилиндровым четырехтактным ДВС с искровым зажиганием УАЗ-31631 рабочим объемом 2,29 л и номинальной мощностью 85 кВт.

Исходные данные для вариантов расчёта представлены в прил. 2. Вариант соответствует номеру студента в списке группы журнала посещения занятий.

## 3. Методика оценки энергетической эффективности ДВС

### 3.1. Построение внешней скоростной характеристики ДВС

Внешняя скоростная характеристика ДВС представляет собой зависимость параметров двигателя от частоты вращения коленчатого вала при максимально возможной подаче топливо-воздушной смеси.

Внешнюю скоростную характеристику ДВС строят для 5...10 точек, соответствующих различным частотам вращения коленчатого вала  $n_e$ . Например, для двигателя с величиной частоты вращения при номинальной мощности  $n_N$  равной 5400 об/мин можно выбрать следующие частоты вращения: 1000; 2000; 3000; 4000; 5000 и 6000 об/мин.

Для каждого значения частоты вращения коленчатого вала  $n_e$  определяют следующие показатели:

1. Эффективная мощность:

$$N_e = N_N \left[ \left( \frac{n_e}{n_N} \right) + \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^2 - \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right], \quad \text{кВт},$$

где  $N_N$  – номинальная мощность, кВт;  $n_N$  – частота вращения при номинальной мощности, об/мин.

2. Крутящий момент:

$$M = \frac{30000 \cdot N_e}{\pi n_e}, \quad \text{Нм.}$$

3. Удельный эффективный расход топлива:

$$g_e = g_N k_n, \quad \frac{\text{г}}{\text{кВтч}},$$

где  $g_N$  – удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности, г/кВтч;  $k_n$  – коэффициент, учитывающий влияние изменения частоты вращения на удельный эффективный расход топлива:

$$k_n = 1,25 - 0,99 \left( \frac{n_e}{n_N} \right) + 0,98 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^2 - 0,24 \left( \frac{n_e}{n_N} \right)^3.$$

4. Часовой расход топлива:

$$G_m = \frac{g_e N_e}{1000}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

5. Коэффициент полезного действия:

$$\eta_e = \frac{3600000}{g_e \cdot H_u} \cdot 100\%, \quad \%$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, для бензина  $H_u = 44000$  кДж/кг.

По результатам расчётов заполняют таблицу значений показателей ДВС по внешней скоростной характеристике (см. табл. 1).

Таблица 1

Показатели ДВС автомобиля (указать марку автомобиля) по внешней скоростной характеристике

Показатель	Частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин					
	1000	...	...	...	...	...
$N_e$ , кВт						
$M$ , Нм						
$k_n$						
$g_e$ , г/кВтч						
$G_m$ , кг/ч						
$\eta_e$ , %						

На основе данных табл. 1 строят графики зависимостей  $N_e$ ,  $g_e$ ,  $G_m$  и  $\eta_e$ , от частоты вращения коленчатого вала двигателя  $n_e$ . Пример графика зависимости эффективной мощности  $N_e$  от частоты вращения  $n_e$  представлен на рис. 1.

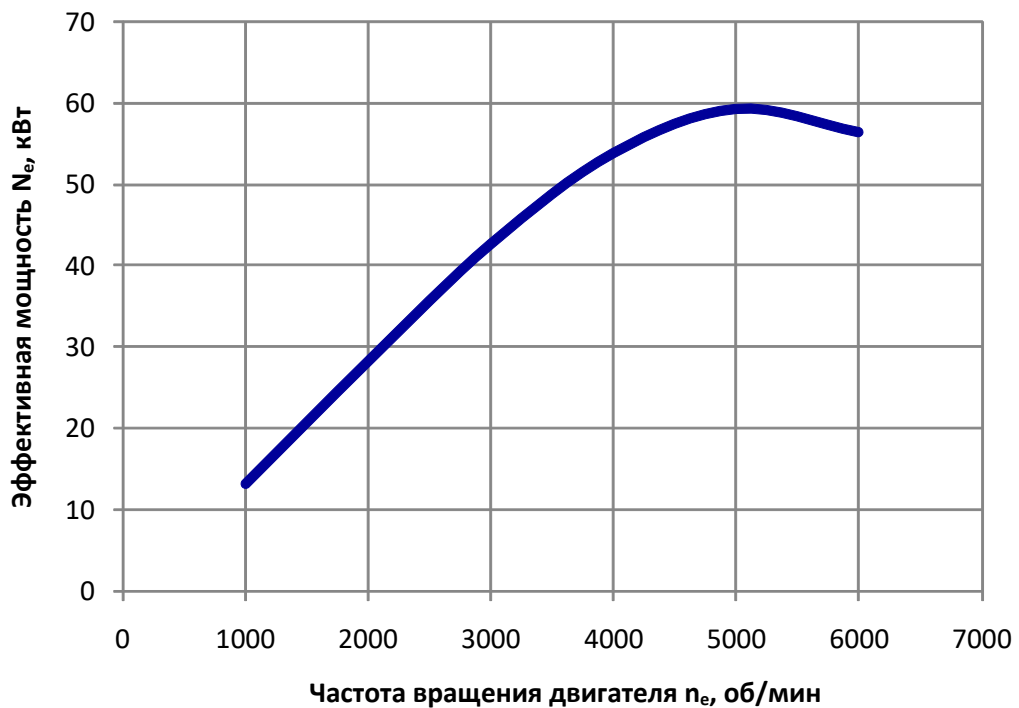


Рис. 1. Зависимость эффективной мощности  $N_e$  от частоты вращения коленчатого вала  $n_e$

### 3.2. Расчёт энергетического баланса ДВС

Энергетический баланс ДВС также рассчитывается для режимов внешней скоростной характеристики. Определяются следующие составляющие энергетического баланса ДВС:

1. Теплота, подведенная с топливом:

$$Q_T = \frac{G_m H_u}{3,6}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

2. Теплота, преобразованная в полезную работу:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

3. Теплота, отведенная через систему охлаждения:

$$Q_o = c \cdot i \cdot D^{1+2m} n_e^m, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}},$$

где  $c$  – коэффициент, для бензиновых двигателей  $c = 0,45 \dots 0,53$ ;  $i$  – число цилиндров двигателя;  $m$  – показатель степени,  $m = 0,6 \dots 0,7$ ;  $D$  – диаметр цилиндра двигателя, см.

4. Теплота, отведенная с отработавшими газами:

$$Q_{ог} = \frac{G_m \alpha (L_0 + 1)}{3,6} (c_{прог} \cdot t_{ог} - c_{возд} \cdot t_{возд}), \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}},$$

где  $\alpha$  - коэффициент избытка воздуха, для современных бензиновых двигателей принимаем равным 1;  $L_0$  – количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания 1 кг бензина  $L_0=15$  кг возд./кг топл.;  $c_{\text{рог}}$  и  $c_{\text{рвозд}}$  – удельная изобарная теплоемкость отработавших газов и воздуха, соответственно, принимаем  $c_{\text{рог}}=1,15$  кДж/кг $^{\circ}$ С,  $c_{\text{рвозд}}=1,01$  кДж/кг $^{\circ}$ С;  $t_{\text{возд}}$  – температура окружающего атмосферного воздуха,  $t_{\text{возд}} = 20^{\circ}$ С;  $t_{\text{ог}}$  – температура отработавших газов:

$$t_{\text{ог}} = 561,6 + 242,1 \left( \frac{n_e}{n_N} \right), ^{\circ}\text{C}.$$

5. Остаточный член теплового баланса:

$$Q_{\text{ост}} = Q_m - Q_e - Q_v - Q_{\text{ог}}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Также рассчитывают тепловой баланс для каждого режима в процентах, при этом за 100% принимают теплоту, подведенную с топливом на данном режиме. По результатам расчётов заполняют таблицу (см. табл. 2).

Таблица 2

Тепловой баланс ДВС автомобиля (указать марку автомобиля) на режимах внешней скоростной характеристики

Показатель	Частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин					
	1000	...	...	...	...	...
$Q_T$ , Дж/с						
$Q_e$ , Дж/с						
$Q_v$ , Дж/с						
$Q_{\text{ог}}$ , Дж/с						
$Q_{\text{ост}}$ , Дж/с						
$Q_T$ , %	100	100	100	100	100	100
$Q_e$ , %						
$Q_v$ , %						
$Q_{\text{ог}}$ , %						
$Q_{\text{ост}}$ , %						

На основе данных табл. 2 строят диаграмму, иллюстрирующую тепловой баланс ДВС в процентах в зависимости от частоты вращения коленчатого вала  $n_e$ . Пример теплового баланса двигателя представлен на рис. 2.

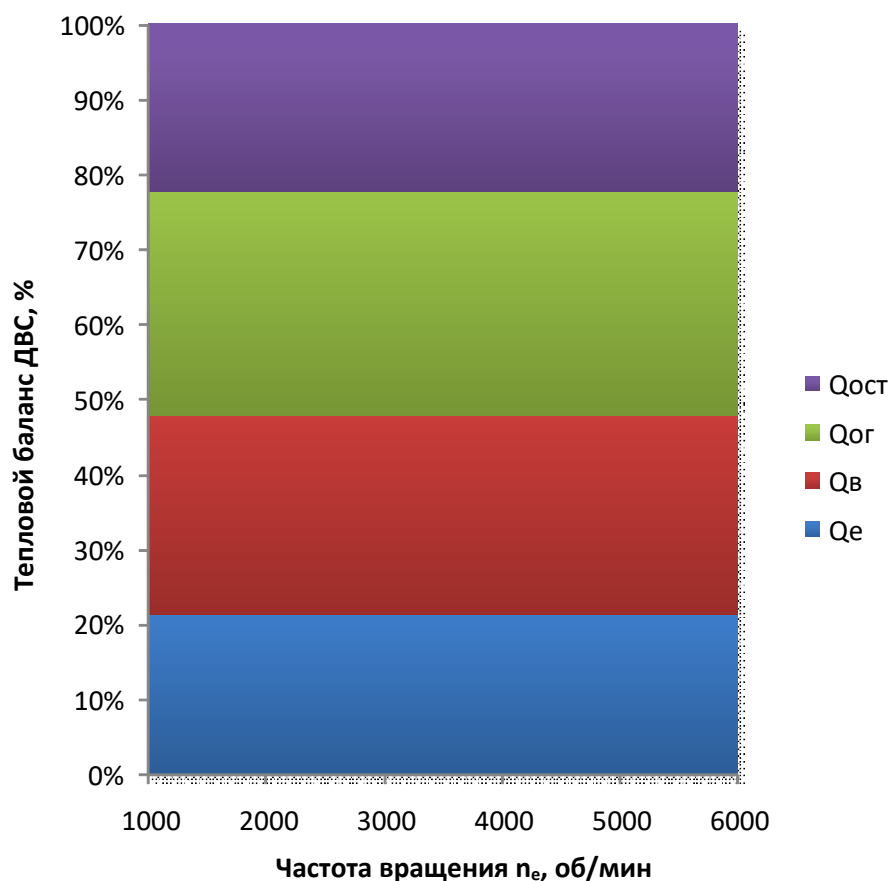


Рис. 2. Тепловой баланс ДВС

#### 4. Методика оценки энергетической эффективности автомобиля

##### 4.1. Расчёт показателей топливной экономичности и энергетической эффективности автомобиля

Определяется вес автомобиля с грузом:

$$G_a = g \cdot (m_a + m_{гр}), \text{ Н,}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $m_a$  – снаряженная масса автомобиля, кг;  $m_{гр}$  – масса груза, кг.

Расчёт производится для каждого значения передаточного отношения коробки передач автомобиля. Передаточное отношение трансмиссии на  $i$ -ой передаче рассчитывается по формуле:

$$u_{mpi} = u_{kpi} \cdot u_{гп},$$

где  $u_{kpi}$  – передаточное отношение коробки передач на  $i$ -ой передаче;  
 $u_{гп}$  – передаточное отношение главной передачи.

Далее для нескольких значений  $n_e$ , как это было сделано при построении внешней скоростной характеристики ДВС, рассчитывают следующие показатели:

1. Скорость автомобиля:

$$V = \frac{0,105n_e r_k}{u_{mpi}}, \quad \frac{M}{c},$$

где  $r_k$  – радиус качения колеса, м.

2. Сила сопротивления качению:

$$P_k = G_a f, \quad H,$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению колес:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V^2}{1500}\right),$$

здесь  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению при низких скоростях.

3. Сила сопротивления воздуху:

$$P_e = 0,5 \cdot c_x \rho_v F V^2, \quad H,$$

где  $c_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$\rho_v$  – плотность воздуха при нормальных условиях,  $\rho_v = 1,202 \text{ кг/м}^3$ ;

$F$  – площадь миделева сечения автомобиля:

$$F = 0,8 \cdot B H, \quad \text{м}^2,$$

где  $B$  – габаритная высота автомобиля, м;  $H$  – габаритная ширина автомобиля, м.

4. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению:

$$N_k = \frac{P_k V}{1000}, \quad \text{кВт}.$$

5. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуху:

$$N_e = \frac{P_e V}{1000}, \quad \text{кВт}.$$

6. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления трению в трансмиссии:

$$N_{mp} = (N_k + N_e) \left[ \frac{1 - \eta_{mp}}{\eta_{mp}} \right], \quad \text{кВт},$$

где  $\eta_{mp}$  – коэффициент полезного действия трансмиссии.

7. Суммарная мощность, затрачиваемая на приведение автомобиля в движение:

$$N_{\Sigma} = N_k + N_e + N_{mp}, \quad \text{кВт}.$$



8. Удельный эффективный расход топлива двигателем:

$$g_e = g_N k_n k_N, \quad \frac{\text{г}}{\text{кВтч}}$$

где  $k_N$  – коэффициент, учитывающий влияние изменения мощности двигателя на удельный эффективный расход топлива:

$$k_N = 3,27 - 8,22 \left( \frac{N_\Sigma}{N_N} \right) + 9,13 \left( \frac{N_\Sigma}{N_N} \right)^2 - 3,18 \left( \frac{N_\Sigma}{N_N} \right)^3.$$

В случае, если соотношение  $\left( \frac{N_\Sigma}{N_N} \right)$  превышает 1, то дальнейшие расчеты на данной передаче не производятся.

9. Часовой расход топлива:

$$G_m = \frac{g_e N_\Sigma}{1000}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

10. Путевой расход топлива:

$$Q_s = \frac{100 \cdot G_m}{3,6 \cdot V \rho_m}, \quad \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}$$

где  $\rho_T$  – плотность топлива (бензина) при нормальных условиях,  $\rho_T = 0,74$  кг/л.

11. Коэффициент полезного действия автомобиля:

$$\eta_a = \frac{3600 \cdot (N_K + N_e)}{G_m \cdot H_u} \cdot 100\%, \quad \%$$

По результатам расчетов заполняют таблицы (см. табл. 3) для каждого значения передаточного отношения трансмиссии.

Таблица 3

Показатели автомобиля (указать марку автомобиля) при движении на (указать номер) передаче

Показатель	Частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин					
	1000	...	...	...	...	...
$V$ , м/с						
$f$						
$P_K$ , Н						

Продолжение табл. 3

$P_B$ , Н						
$N_K$ , кВт						
$N_B$ , кВт						
$N_{тр}$ , кВт						

$N_{\Sigma}$ , кВт						
$k_N$						
$g_e$ , г/кВтч						
$G_T$ , кг/ч						
$Q_s$ , л/100 км						
$\eta_a$ , %						

На основе данных из табл. 3 строят графики зависимостей  $N_k$ ,  $N_b$ ,  $N_{тр}$ ,  $N_{\Sigma}$ ,  $N_e$  от скорости автомобиля  $V$  (значения  $N_e$  соответствуют внешней скоростной характеристике двигателя), пример представлен на рис. 3. Также строят графики зависимостей  $G_T$ ,  $Q_s$  и  $\eta_a$ , от скорости автомобиля  $V$ . Пример графика зависимости путевого расхода топлива  $Q_s$  от скорости автомобиля  $V$  для различных передач представлен на рис. 4.

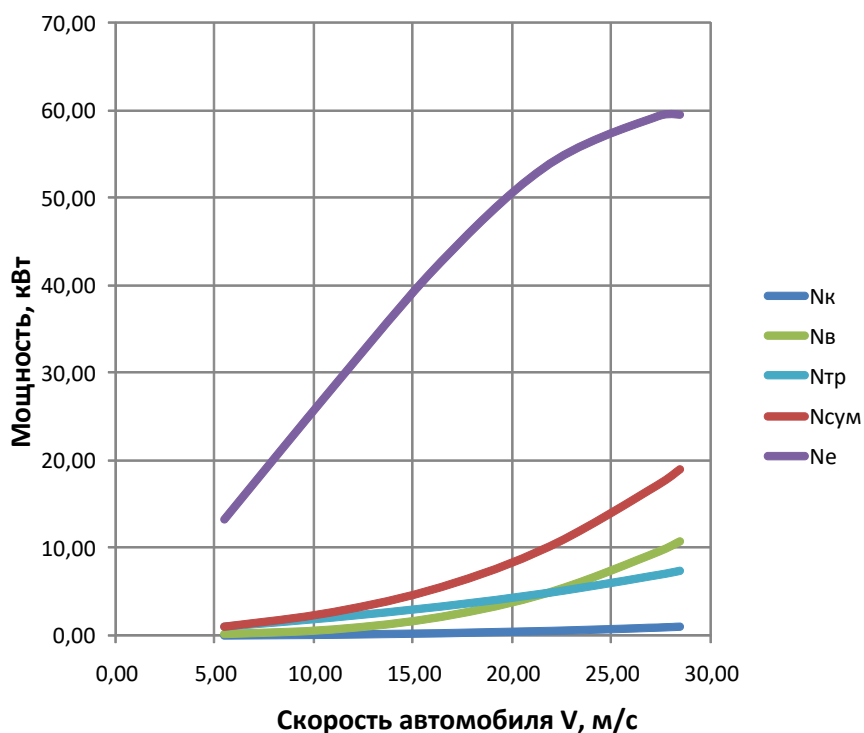


Рис. 3. Мощностной баланс автомобиля на  $i$ -ой передаче

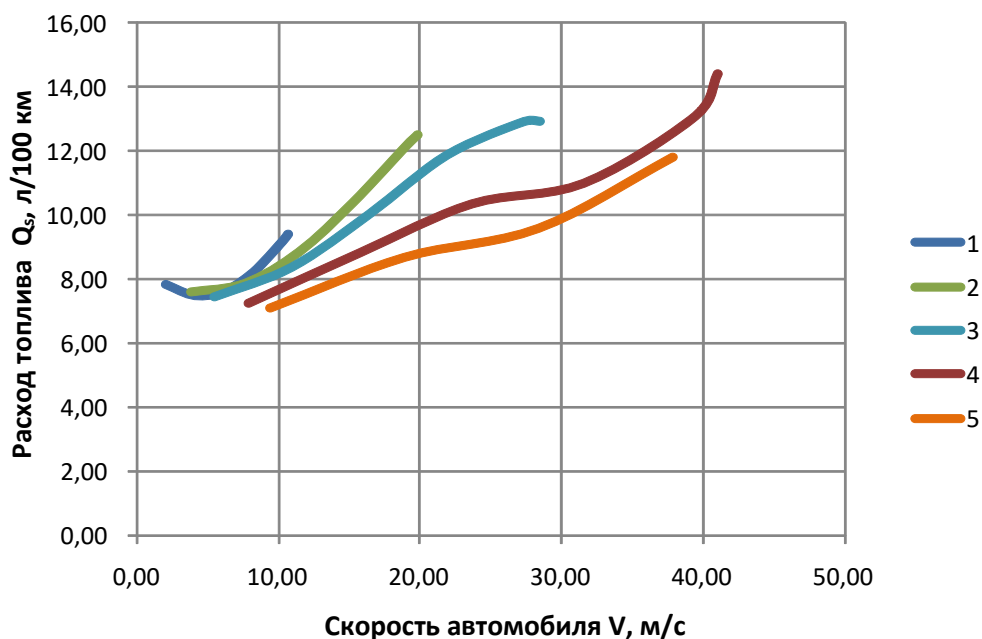


Рис.4. Зависимость путевого расхода топлива от скорости автомобиля на различных передачах трансмиссии

#### 4.2. Расчёт энергетического баланса автомобиля

Энергетический баланс автомобиля рассчитывается для тех же режимов, что и характеристики топливной экономичности. Определяются следующие показатели энергетического баланса автомобиля:

1. Энергия, подведенная с топливом:

$$Q_m = \frac{G_m H_u}{3,6 \cdot V}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{км}}$$

2. Потери энергии, связанные с преодолением сил трения в трансмиссии:

$$Q_{mp} = \frac{1000 \cdot N_{mp}}{V}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{км}}$$

3. Потери энергии, связанные с преодолением сил сопротивления качению:

$$Q_k = \frac{1000 \cdot N_k}{V}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{км}}$$

4. Потери энергии, связанные с преодолением сил сопротивления воздуху:

$$Q_s = \frac{1000 \cdot N_s}{V}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{км}}$$

5. Потери теплоты в ДВС:

$$Q_{\text{дв}} = Q_m - Q_{\text{тр}} - Q_k - Q_v, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{км}}$$

Также рассчитывают тепловой баланс для каждого режима в процентах, при этом за 100% принимают теплоту, подведенную с топливом на данном режиме. По результатам расчётов заполняют таблицу (см. табл. 4).

Таблица 4

Тепловой баланс автомобиля (указать марку автомобиля) при движении на (указать номер) передаче

Показатель	Частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин					
	1000	...	...	...	...	...
$Q_T$ , кДж/км						
$Q_{\text{тр}}$ , кДж/км						
$Q_k$ , кДж/км						
$Q_v$ , кДж/км						
$Q_{\text{дв}}$ , кДж/км						
$Q_T$ , %	100	100	100	100	100	100
$Q_{\text{тр}}$ , %						
$Q_k$ , %						
$Q_v$ , %						
$Q_{\text{дв}}$ , %						

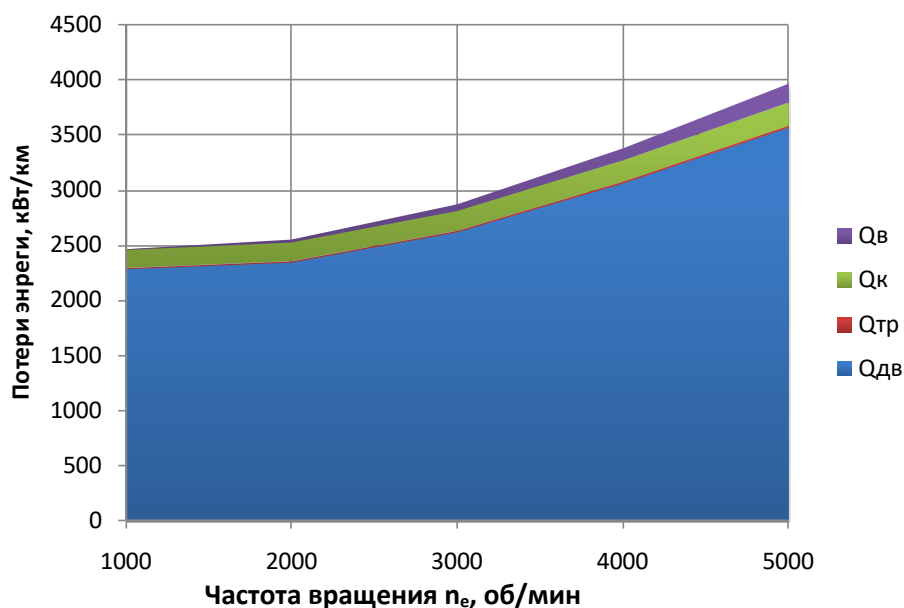


Рис. 5. Тепловой баланс автомобиля на  $i$ -ой передаче

На основе данных табл. 4 строят диаграмму, иллюстрирующую тепловой баланс двигателя в кДж/км нарастающим итогом в

зависимости от скорости автомобиля  $V$ . Пример теплового баланса двигателя представлен на рис. 5.

## **5. Мероприятия по повышению топливной экономичности автомобиля и анализ их эффективности**

В данном разделе приводится описание одного из методов повышения топливной экономичности автомобиля в зависимости от выбранного варианта (см. табл. 5). Описание метода производится на основе анализа научно-технической литературы. Также приводятся числовые параметры, характеризующие эффективность метода.

Таблица 5

Мероприятия по повышению топливной экономичности автомобиля для различных вариантов

Варианты	Наименование мероприятий
2,4,7	Снижение расхода топлива двигателем
5,9,10	Повышение эффективности трансмиссии
3,6	Снижение сопротивления качению шин
1,8,11	Снижение аэродинамического сопротивления автомобиля

На основе выбранных параметров метода повышения топливной экономичности автомобиля производится повторный расчет энергетической эффективности автомобиля (для вариантов 1,3,5,6,8,9,10 и 11), а также и энергетической эффективности двигателя (для вариантов 2,4 и 7).

По результатам расчетов строят графики зависимости путевого расхода топлива для базового и модернизированного варианта от скорости автомобиля для каждой передачи. Пример графика представлен на рис. 6.

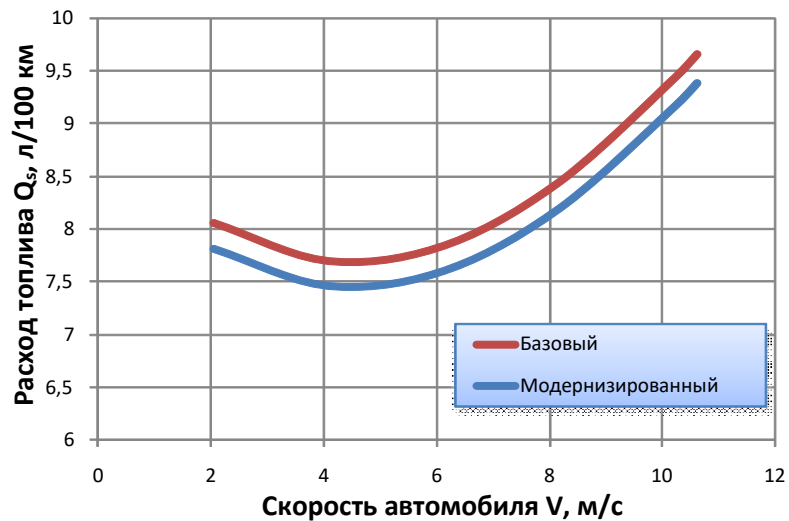


Рис. 6. Путь расход топлива автомобилем в базовом варианте и после модернизации на  $i$ -ой передаче

## 6. Заключение

В заключительном разделе курсовой работы приводят выводы. Выводы должны содержать анализ полученных результатов по следующим пунктам:

- энергетическая эффективность ДВС;
- энергетический баланс ДВС;
- энергетическая эффективность автомобиля;
- энергетический баланс автомобиля;
- эффективность метода повышения топливной экономичности автомобиля.

## Исходные данные

Показатель	Обозначение	Ед. измер.	Варианты				
			1	2	3	4	5
Модель автомобиля	—	—	ВАЗ-2107	ВАЗ-2113	ВАЗ-2114	Приора седан	Приора универсал
Рабочий объем двигателя	$V_h$	л	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6
Номинальная мощность двигателя	$N_N$	кВт	53,5	59,5	56,4	59	72
Частота вращения двигателя при номинальной мощности	$n_N$	об/мин	5300	5200	5400	5300	5600
Удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности	$g_N$	г/кВтч	370	350	340	360	330
Диаметр цилиндра	$D$	см	7,9	8,2	8,2	8,2	8,2
Число цилиндров	$i$	—	4	4	4	4	4
Передаточное отношение коробки передач:	—	—	—	—	—	—	—
на 1-й передаче	$u_{кп 1}$	—	3,667	3,636	3,636	3,64	3,64
на 2-й передаче	$u_{кп 2}$	—	2,1	1,95	1,95	1,95	1,95
на 3-й передаче	$u_{кп 3}$	—	1,361	1,357	1,357	1,36	1,36
на 4-й передаче	$u_{кп 4}$	—	1	0,941	0,941	0,94	0,94
на 5-й передаче	$u_{кп 5}$	—	0,82	0,784	0,784	0,78	0,78
Передаточное отношение главной передачи	$u_{гп}$	—	3,9	3,71	3,71	3,7	3,7
КПД трансмиссии	$\eta_{тр}$	—	0,913	0,922	0,922	0,922	0,922
Коэффициент аэродинамического сопротивления	$c_x$	—	0,52	0,43	0,44	0,35	0,34
Радиус качения колеса	$r_k$	м	0,285	0,265	0,265	0,267	0,267
Габаритная высота автомобиля	$B$	м	1,446	1,402	1,402	1,42	1,42
Габаритная ширина автомобиля	$H$	м	1,62	1,65	1,65	1,68	1,68
Снаряженная масса автомобиля	$m_a$	кг	1060	975	985	1088	1098
Масса груза	$m_{гр}$	кг	75	150	225	150	300
Коэффициент сопротивления качению шин	$f_0$	—	0,009	0,01	0,011	0,012	0,008

Продолжение прил. 2

Показатель	Обозначение	Ед. измер.	Варианты					
			6	7	8	9	10	11
Модель автомобиля	—	—	ВАЗ-1117	ВАЗ-1118	ВАЗ-21214	ВАЗ-2131	УАЗ Патриот	УАЗ Хантер
Рабочий объем двигателя	$V_h$	л	1,4	1,6	1,7	1,7	2,7	2,9
Номинальная мощность двигателя	$N_N$	кВт	65,5	59,5	59,5	61	94,1	76,5
Частота вращения двигателя при номинальной мощности	$n_N$	об/мин	5600	5200	5000	5100	4400	4000
Удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности	$g_N$	г/кВтч	330	350	350	370	380	420
Диаметр цилиндра	$D$	см	7,65	8,2	8,2	8,2	9,55	10
Число цилиндров	$i$		4	4	4	4	4	4
Передаточное отношение коробки передач:	—	—	—	—	—	—	—	—
на 1-й передаче	$u_{кп1}$	—	3,636	3,636	3,667	3,667	3,78	4,124
на 2-й передаче	$u_{кп2}$	—	1,95	1,95	2,1	2,1	2,6	2,641
на 3-й передаче	$u_{кп3}$	—	1,357	1,357	1,361	1,361	1,55	1,58
на 4-й передаче	$u_{кп4}$	—	0,941	0,941	1	1	1	1
на 5-й передаче	$u_{кп5}$	—	0,784	0,784	0,82	0,82	0,82	—
Передаточное отношение главной передачи	$u_{гп}$	—	3,706	3,706	3,9	3,9	4,625	5,125
КПД трансмиссии	$\eta_{тр}$	—	0,922	0,922	0,851	0,851	0,834	0,834
Коэффициент аэродинамического сопротивления	$c_x$	—	0,33	0,34	0,536	0,455	0,47	0,58
Радиус качения колеса	$r_k$	м	0,262	0,262	0,33	0,33	0,342	0,342
Габаритная высота автомобиля	$B$	м	1,5	1,5	1,64	1,64	1,9	1,73
Габаритная ширина автомобиля	$H$	м	1,7	1,7	1,68	1,68	1,95	2,1
Снаряженная масса автомобиля	$m_a$	кг	1110	1080	1210	1370	2050	1800
Масса груза	$m_{гр}$	кг	225	150	150	225	225	300
Коэффициент сопротивления качению шин	$f_0$	—	0,012	0,014	0,015	0,02	0,017	0,019