

A close-up photograph of a fuel injector nozzle. The nozzle is black with a white plastic top and a brass-colored metal base. A blue marking 'B1119' is visible on the black plastic. The nozzle is positioned over a perforated metal surface. The background is blurred, showing industrial equipment.

Тема 3.

# Топливная ЭКОНОМИЧНОСТЬ

**Топливной экономичностью** называют совокупность свойств, определяющих расходы топлива при выполнении автомобилем транспортной работы в различных условиях эксплуатации.

### Оценочные показатели

Топливная экономичность автомобиля в значительной степени определяется такими показателями двигателя, как часовой расход топлива  $G_T$ , кг/ч — масса топлива, расходуемого в один час, и удельный расход топлива  $g_e$ , г/(кВт·ч) — масса топлива, расходуемого в один час на единицу мощности двигателя.

Основным **измерителем** топливной экономичности автомобиля в нашей стране и большинстве европейских стран является расход топлива в литрах на 100 км пройденного пути (путевой расход)  $Q_s$ , л.

Для оценки эффективности использования топлива при выполнении транспортной работы используются расход топлива на единицу транспортной работы (100 т·км)  $Q_w$ , л — отношение фактического расхода топлива к выполненной транспортной работе.

В США наряду с путевым расходом используют обратный измеритель — длину пробега на единицу объема израсходованного топлива.

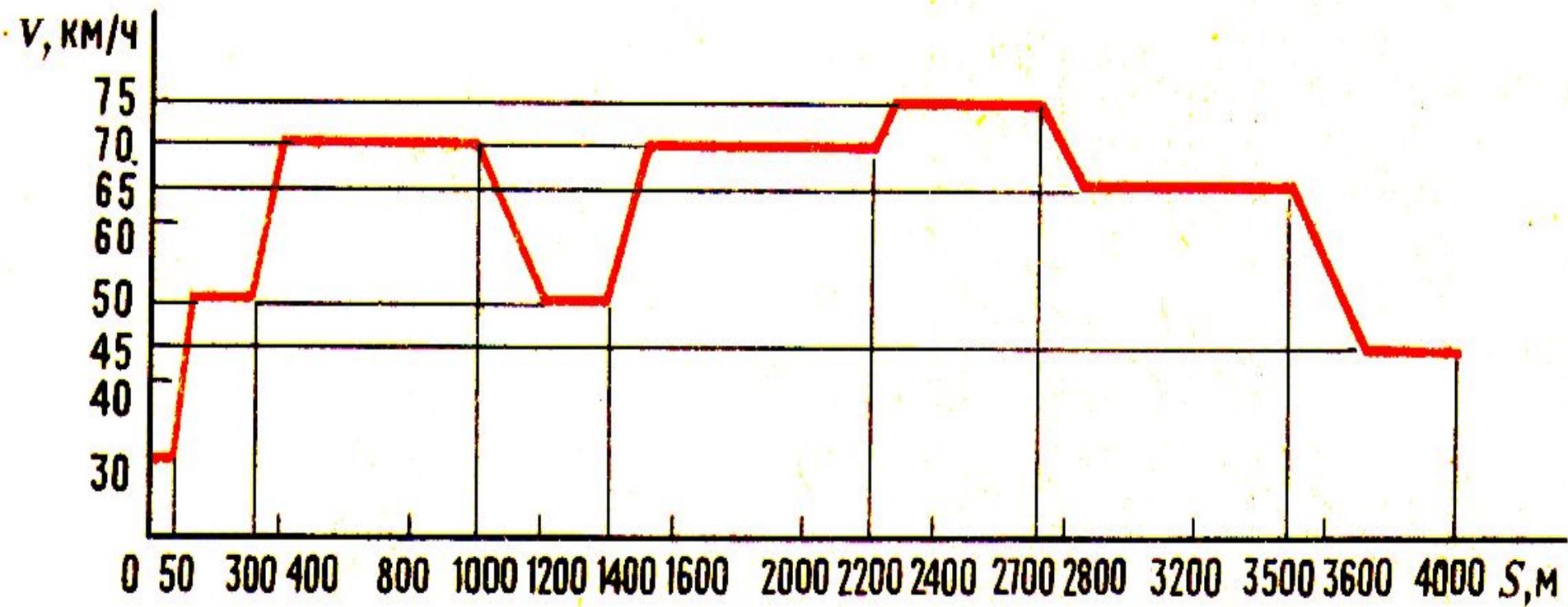
Оценочными показателями топливной экономичности служат:

- 1) контрольный расход топлива (КРТ);
- 2) расход топлива в магистральном ездовом цикле на дороге (РТМЦ);
- 3) расход топлива в городском ездовом цикле на дороге (РТГЦд);
- 4) расход топлива в городском цикле на стенде (РТГЦ);
- 5) топливная характеристика установившегося движения (ТХ);
- 6) топливно-скоростная характеристика на магистрально-холмистой дороге (ТСХ).

Эти оценочные показатели не имеют нормированных значений, их используют при сравнительной оценке уровня топливной экономичности с зарубежными аналогами и косвенной оценки технического состояния автомобилей.

КРТ определяют для всех категорий автотранспортных средств при заданных значениях скорости движения разных для различных категорий при движении по прямой горизонтальной дороге на высшей передаче. Для автомобилей, у которых  $m_a < 3,5$  т, КРТ определяют при  $V=90$  км/ч (или  $0,9 V_{max}$ , если  $V_{max} < 90$  км/ч) и  $V=120$  км/ч (если  $V_{max} > 120$  км/ч). Для автотранспортных средств, у которых  $m_a > 3,5$  т (кроме магистральных автопоездов, городских, междугородных и туристских автобусов) КРТ определяют при  $V=60$  и  $80$  км/ч, а если  $V_{max} < 80$  км/ч, то при  $40$  и  $60$  км/ч. Для городских автобусов КРТ определяют при  $V=40$  и  $60$  км/ч, для магистральных автопоездов, междугородных и туристических автобусов при  $60$  и  $80$  км/ч (если  $V_{max} < 80$  км/ч, то при  $40$  и  $60$  км/ч).

КРТ широко используется для косвенной оценки технического состояния автотранспортного средства.

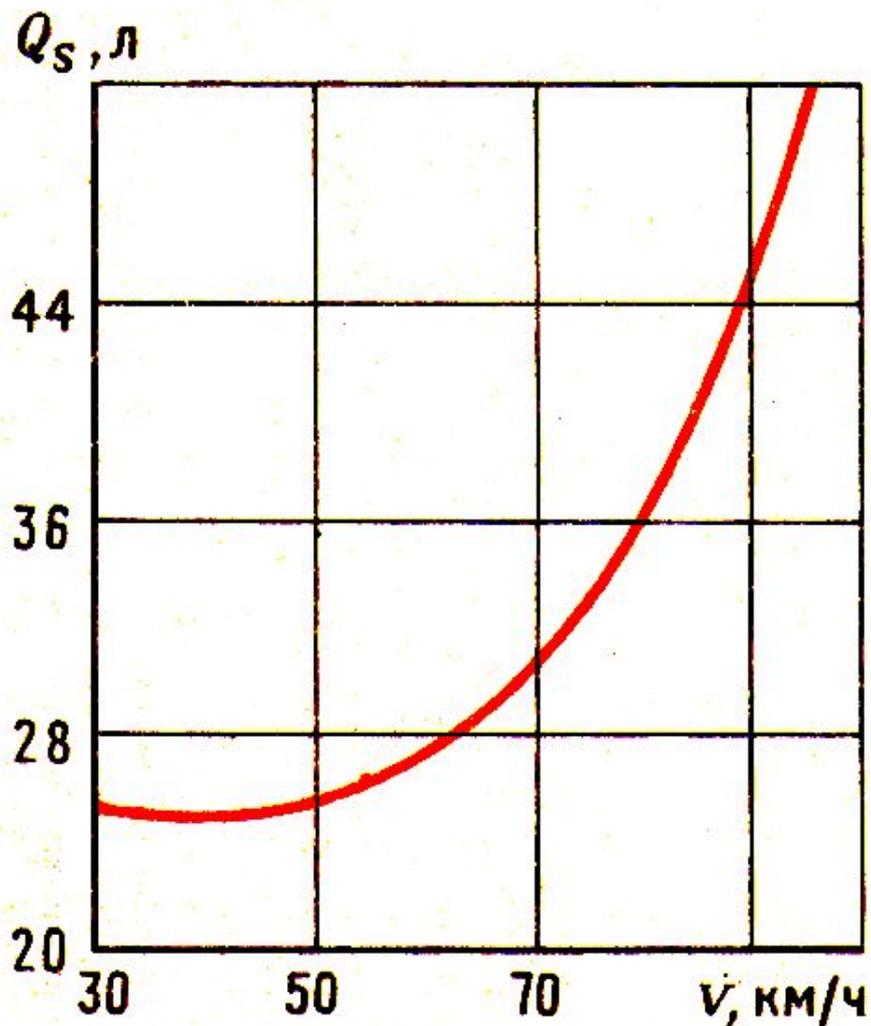


### Магистральный цикл

РТМЦ измеряют для автотранспортных средств всех категорий, кроме городских автобусов, пробегом по измерительному участку с соблюдением режимов движения,

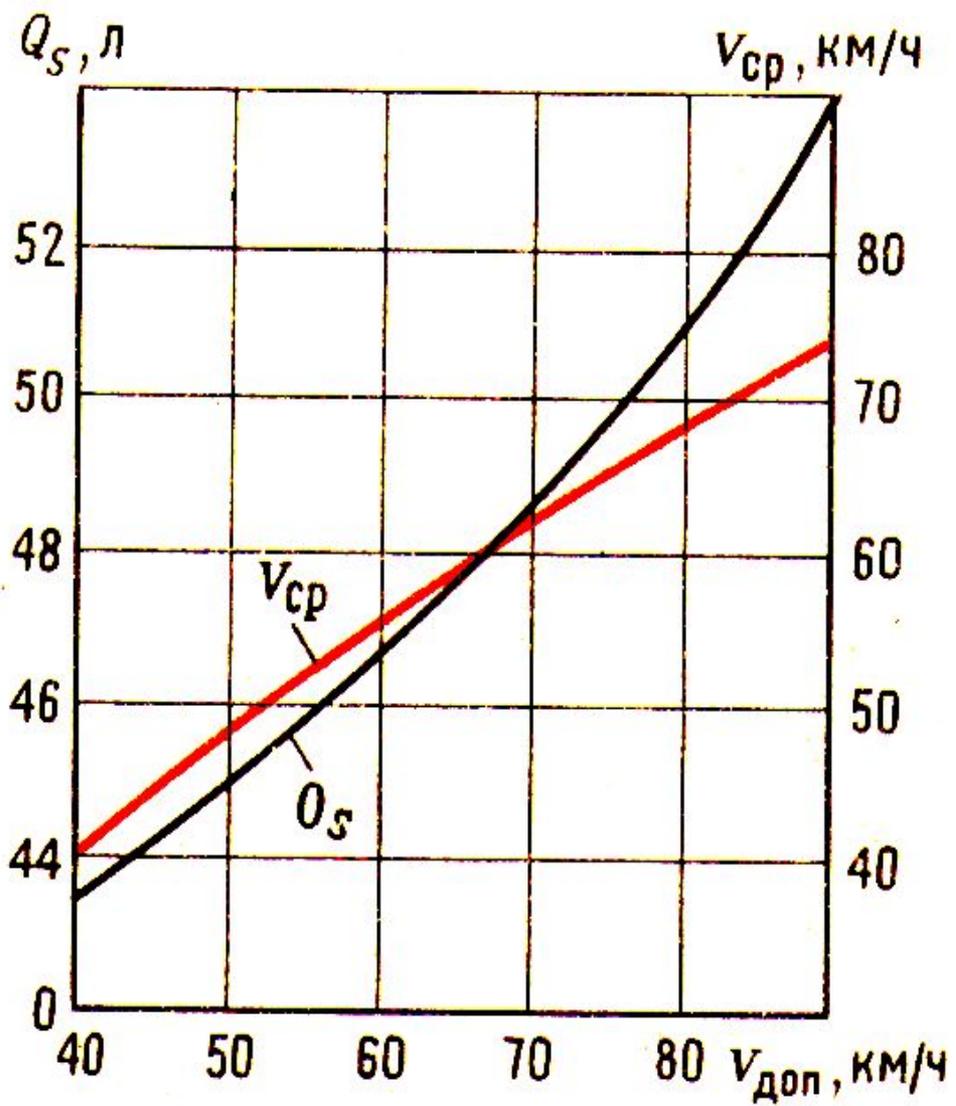
РТГЦд оценивают для автотранспортных средств всех категорий, кроме магистральных автопоездов, междугородных и туристских автобусов так же как РТМЦ, отличием являются только характеристика операций по операционной карте и схема цикла.

РТГЦ определяют только для автомобилей, у которых  $m_a < 3,5$  т, испытанием на стенде с беговыми барабанами по ездовому циклу в соответствии с операционной картой и схемой цикла.



**Топливная характеристика  
установившегося движения**

**ТХ - график  
зависимости расхода  
топлива  $Q_s$  от  
скорости  
установившегося  
движения на высшей  
передаче по  
горизонтальной  
дороге, его строят  
для  
автотранспортных  
средств всех**



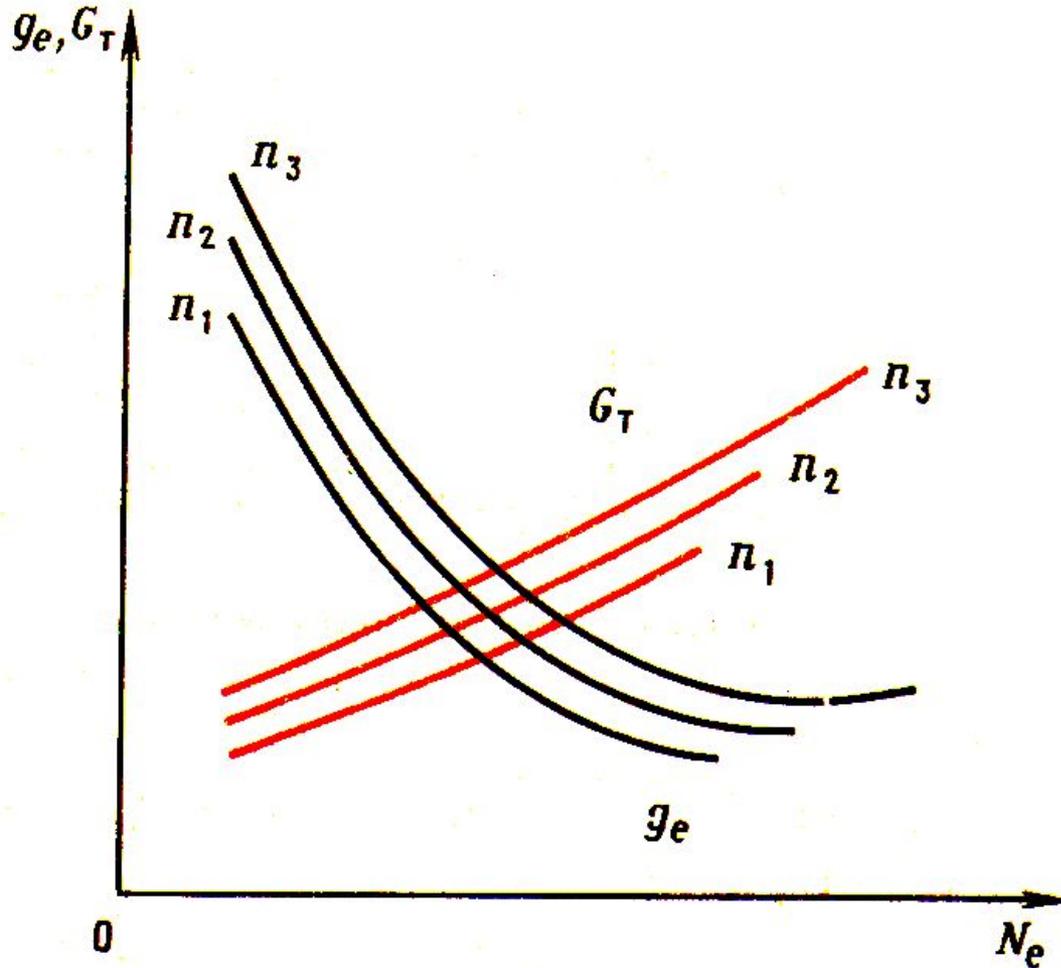
**Топливо-скоростная характеристика при движении магистрально-холмистой дороге**

ТСХ — график зависимости расхода топлива  $Q_s$  и скорости  $V_{cp}$  от  $V_{доп}$  при движении по магистрально холмистой дороге с заданным продольным профилем.

Этот показатель характеризует движение магистральных автопоездов,

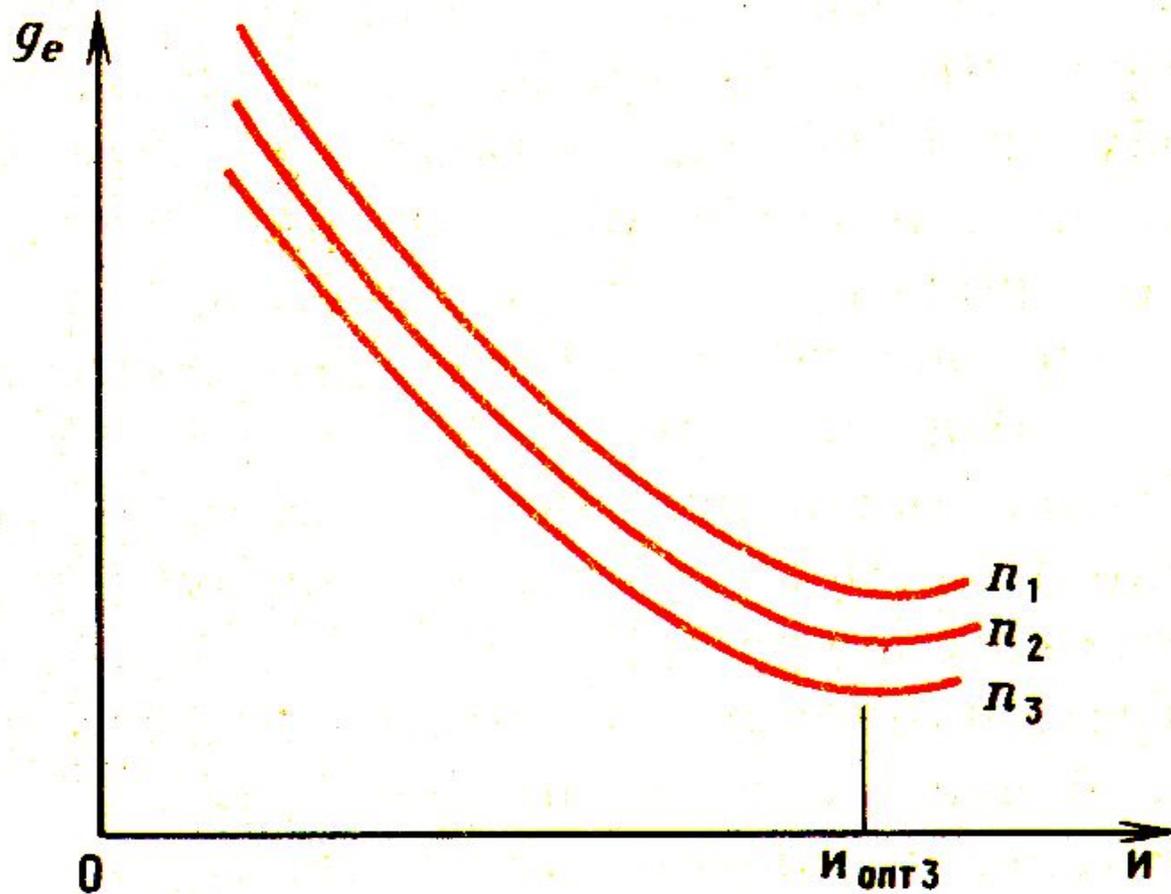
Оценочные показатели КРТ и ТХ определяют топливную экономичность на установившихся режимах движения по горизонтальным дорогам с твердым усовершенствованным покрытием. Их используют в основном для сравнения уровня топливной экономичности аналогов. Остальные — позволяют оценивать средние расходы топлива в типизированных характерных условиях движения.

# Уравнения расхода топлива



Нагрузочная характеристика двигателя

Исходным графиком для определения расходов топлив  $g_e$  и  $G_m$  является нагрузочная характеристика - графики зависимостей  $G_m = f(N_e)$  и  $g_e = f(N_e)$  при  $n = const$



### Зависимость удельного расхода топлива от коэффициента использования мощности двигателя

Для расчета расхода  $Q_s$  иногда удобнее использовать график зависимости  $g_e$  от коэффициента использования мощности двигателя  $И$ . Он может быть получен по нагрузочной и внешней характеристикам.

Для каждого значения частоты  $n$  расход  $g_e$  имеет минимум при значении  $\mathbf{i}$ , близком к 100%. При малых значениях коэффициента  $\mathbf{i}$  удельный расход возрастает в результате уменьшения КПД двигателя и ухудшения условий сгорания топлива, а при больших значениях  $\mathbf{i}$  (у карбюраторных двигателей) — в связи с обогащением горючей смеси экономайзером.

Для карбюраторных двигателей при малом значении коэффициента использования мощности двигателя расход  $g_e$  увеличивается по сравнению с минимальным в несколько раз, а при  $\mathbf{i}=100\%$  увеличивается на 10...15%.

У дизелей расход  $g_e$  в меньшей степени зависит от коэффициента  $\mathbf{i}$  и при малых его значениях отличается от минимального не более, чем в 1,5 раза.

Минимальные значения расхода  $g_e$  при полной и частичных нагрузках соответствуют частоте несколько большей, чем та, при которой для заданного положения органа управления подачей топлива  $M_k = M_{k.max}$ . Чем меньше коэффициент  $\mathbf{i}$ , тем при меньшей частоте расход  $g_e$  имеет минимальное значение. При постоянном положении органов управления подачей топлива изменение зависимости  $g_e = f(n)$  тем существеннее, чем меньше значение  $\mathbf{i}$ . У карбюраторных двигателей при  $\mathbf{i}=100\%$  с увеличением частоты от  $n_{min}$  до  $n_N$  расход возрастает в среднем лишь на 10%, а при  $\mathbf{i}=25\%$  — на 250...300%. Однако при постоянном положении органов управления подачей топлива с изменением частоты  $n$  изменяется и коэффициент  $\mathbf{i}$ . При  $\mathbf{i}=const$  зависимости  $g_e = f(n)$  при полной и частичных нагрузках отличаются

Удельный расход топлива связан с часовым

$$g_e = 1000 G_m / N_e.$$

найдем

$$G_m = g_e N_e / 1000 = g_e N_m / (1000 \eta_m) = g_e (N_\partial + N_\epsilon + N_u) / (1000 \eta_m) = g_e V (P_\partial + P_\epsilon + P_u) / \eta_m.$$

Между расходами  $Q_s$  и  $G_m$  существует зависимость

$$Q_s = 1000 G_m / (36 V \rho_m),$$

где  $\rho_m$  — плотность топлива, кг/л.

Подставляя значение  $G_m$  получим

$$Q_s = g_e (N_\partial + N_\epsilon + N_u) / (36 V \rho_m \eta_m) = g_e (P_\partial + P_\epsilon + P_u) / (36000 \rho_m \eta_m).$$

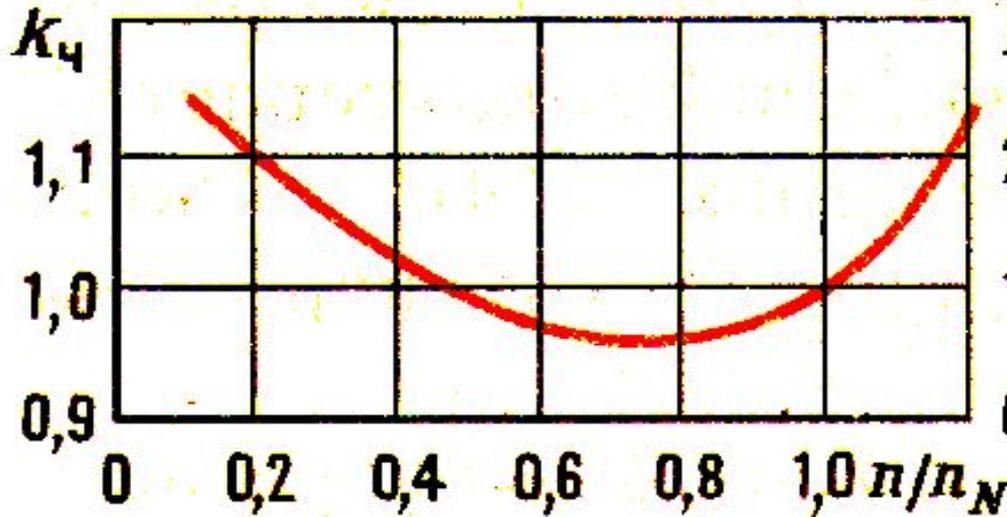
Формулу называют уравнением расхода топлива.

Пользуясь им, можно найти  $Q_s$  для заданных условий движения, если известна зависимость  $g_e = f(N_e, n)$ . При ее отсутствии пользуются различными приближенными методами. И.С. Шлиппе

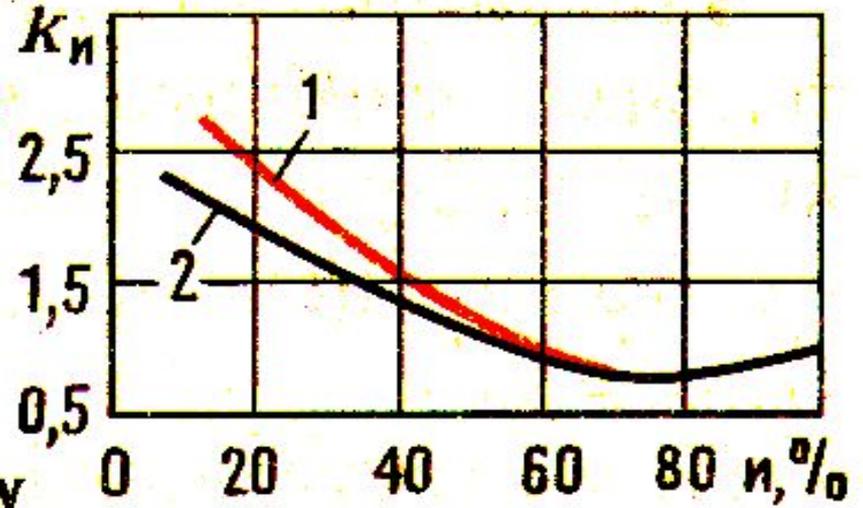
предложил для определения  $g_e$  формулу

$$g_e = g_N k_u k_\eta,$$

где  $g_N$  - удельный расход топлива при  $N_{e\max}$ ;  $k_u$  — коэффициент, учитывающий зависимость  $g_e = f(N)$ ;  $k_\eta$  — коэффициент, учитывающий зависимость  $g_e = f(n)$ .



а)



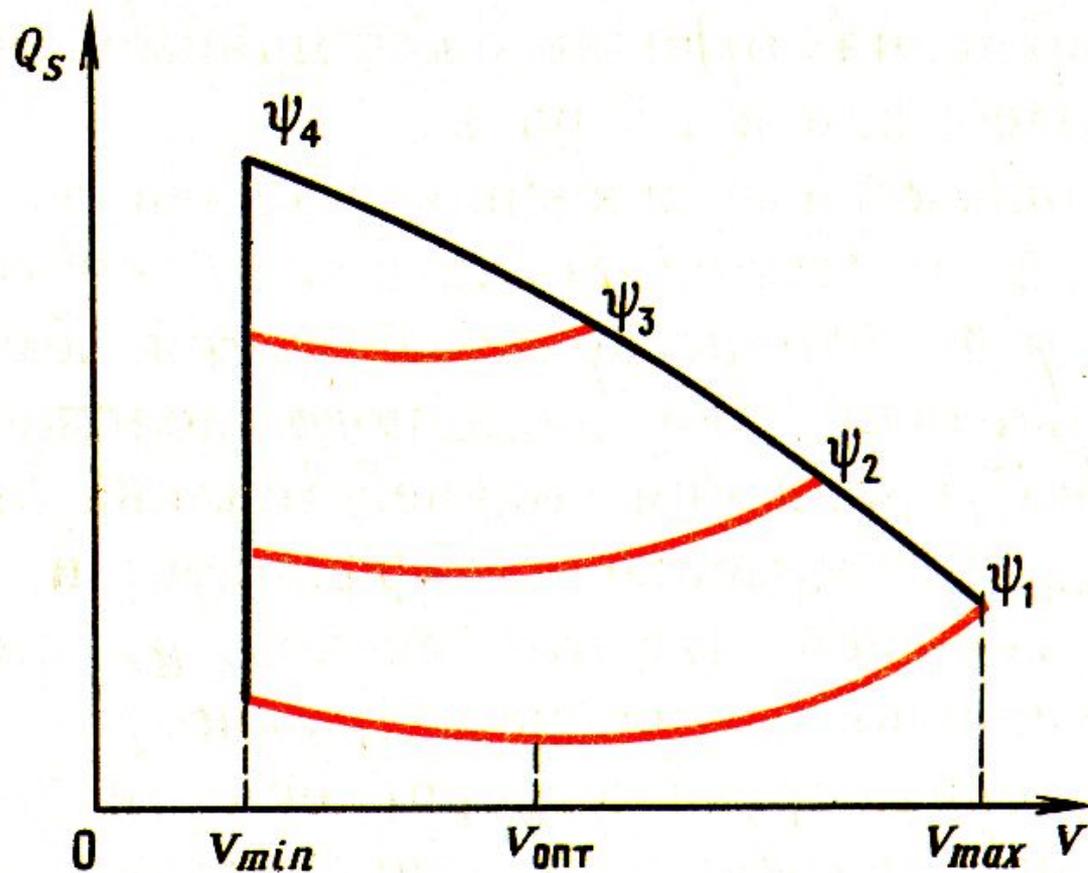
б)

Вспомогательные графики для расчета удельного расхода топлива при различных частотах вращения и нагрузках: 1 - дизелем; 2 - карбюраторным двигателем

## Топливо-экономическая характеристика

Для анализа связи расхода топлива с условиями движения Е.А. Чудаковым предложен график - топливо-экономическая характеристика  $Q_s = f(V)$  при движении с  $V = const$  на дорогах с различными значениями коэффициента  $\psi$ .

Она может быть построена для каждой передачи.



Топливо-экономическая характеристика

В общем случае кривые  $Q_s = f(V)$  для каждого  $\psi$  имеют минимум. Скорости, при которых расход минимальный, тем меньше, чем больше  $\psi$ . Иногда, особенно для автомобилей с дизелем,  $Q_s$  повышается во всем диапазоне увеличения  $V$ .

Слева семейство кривых  $Q_s = f(V)$  ограничивается линией, соединяющей точки, соответствующие минимально устойчивым скоростям движения. Эти скорости различны при различных  $\psi$ .

При движении по дорогам, на которых  $D > \psi$ , двигатель работает не по внешней, а по частичным характеристикам ( $\mathbf{i} < 100\%$ ). Чем меньше значение коэффициента  $\mathbf{i}$ , тем меньше частота  $n_{min}$ , а следовательно, и  $V_{min}$ . На режиме холостого хода частота  $n_{min}$  в 1,5...2,5 раза меньше, чем при работе с полной подачей топлива. Если зависимость  $n_{min} = f(\mathbf{i})$  неизвестна, то  $V_{min}$  условно считают одинаковой и при всех значениях  $\psi$  подсчитывают по  $n_{min}$  при полной

Справа и сверху топливно-экономическая характеристика ограничивается огибающей кривой, соответствующей расходам топлива при  $\eta=100\%$ .

Топливо-экономическая характеристика может быть построена по результатам дорожных или стендовых испытаний, а также по результатам расчета, который проводят в следующем порядке:

- 1) задаются коэффициентом  $\psi$ ;
- 2) задаются несколькими значениями скорости  $V$  и для каждого из них находят  $N_d$ ,  $N_e$  и  $n$ .

Если имеется нагрузочная характеристика двигателя, то, определив мощность  $N_e = (N_d + N_g) / \eta_m$ , необходимую для движения на каждой из заданных скоростей, по нагрузочной характеристике находят  $g_e$  и  $Q_s$ . Повторив расчеты для нескольких  $\psi$ , строят топливно-экономическую характеристику. Если нагрузочная характеристика отсутствует, но имеется график  $g_e = f(\eta)$ , то расчет продолжают:

- 3) для каждого значения частоты  $n$  по внешней характеристике находят значение мощности  $N_e$ ;
- 4) определяют  $\eta = 100(N_\delta + N_\epsilon)/(N_e \eta_m)$ ;
- 5) пользуясь графиком, для каждого значения скорости  $V$  по соответствующим ей значениям частоты  $n$  и коэффициента  $\eta$  находят  $g_e$ .

Расход топлива  $Q_s$  подсчитывают по формуле.

Если характеристики топливной экономичности рассчитываемого двигателя отсутствуют, то можно воспользоваться одним из приближенных методов, тогда расчет может быть продолжен так:

- 6) по полученным значениям коэффициента  $\eta$  и отношениям  $n/n_N$ , пользуясь графиками находят  $k_\epsilon$  и  $k_u$  для каждой из принятых скоростей;
- 7) определяют  $Q_s = g_N k_u k_\epsilon (N_\delta + N_\epsilon)/(36V \rho_m \eta_m)$  или  $Q_s = g_N k_u k_\epsilon (P_\delta + P_\epsilon)/(36000 \rho_m \eta_m)$ .

Удельный расход  $g_N$  известен из внешней характеристики, при ее отсутствии можно считать  $g_N = (1,15 \dots 1,05) g_{emin}$ . Если  $\eta = 100\%$ , то для карбюраторных двигателей  $g_{emin} = 260 \dots 310$  г/(кВт-ч); для дизелей  $g_{emin} = 195 \dots 230$  г/(кВт-ч).

## Особенности экспериментального определения показателей топливной экономичности

За рубежом в разных странах методы оценки топливной экономичности весьма различны.

В США практически каждая крупная автомобилестроительная фирма имеет свой метод оценки топливной экономичности. В то же время имеются стандартный метод *SAE* и оценочный метод *EPA*. По методу *SAE* дорожными испытаниями определяется расход топлива легковых автомобилей в трех ездовых циклах — городском, пригородном, магистральном.

Метод *EPA* используется для определения среднего расхода топлива автомобилей каждой фирмы и сравнения его с нормируемым, установленным в США для каждого года, начиная с 1978 г. В 1985 г. нормированный средний расход был равен 8,55 л на 100 км. Для вновь проектируемых автомобилей расход должен быть не более 6,8 л на 100 км.

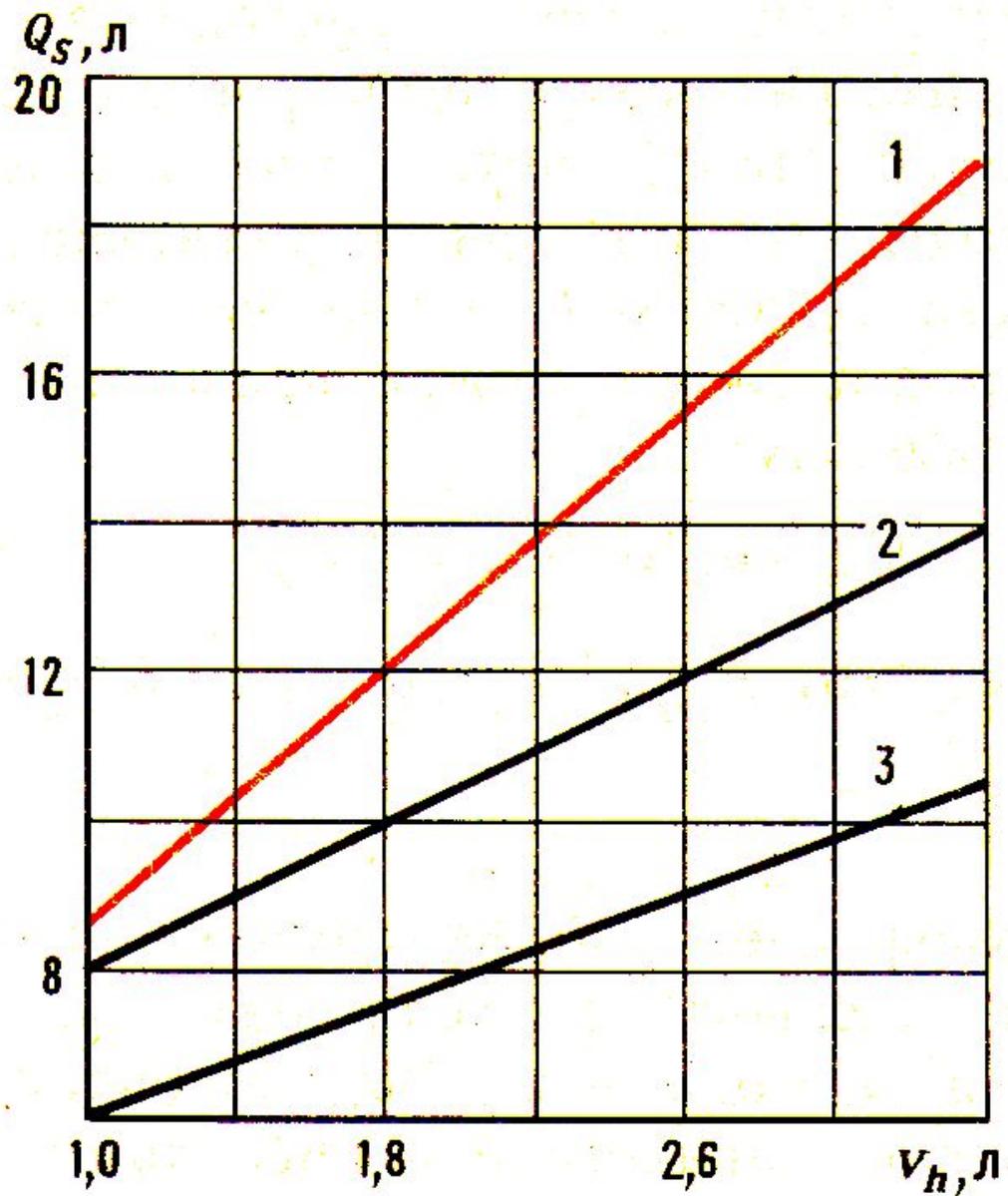
В ряде стран Западной Европы (ФРГ, Великобритания, Франция) оценка топливной экономичности производится по расходам топлива в л на 100 км для установившегося движения на высшей передаче по горизонтальной дороге или на стенде с определенной скоростью движения (90 и 120 км/ч — Франция и ФРГ; 80 км/ч — Великобритания) и по расходам топлива в городском цикле *ECE* на стенде.

Кроме того, практикуются регулярные дорожные испытания автомобилей и автопоездов по шести—семи типичным дорогам общей протяженностью 600...700 км с определением средних эксплуатационных расходов по каждой дороге, а также средневзвешенного расхода.

Применяют расчетные приближенные методы определения среднего эксплуатационного расхода топлива. В США для легковых автомобилей используется формула

$$Q_s = 6,6 \sqrt{\square \square} V_h.$$

В странах Западной Европы при движении по дорогам с твердым покрытием для этого используют топливную характеристику установившегося движения. Считается, что средний эксплуатационный расход топлива для автомобилей с карбюраторным двигателем на 10% выше расхода топлива при скорости, равной  $2/3$  от  $V_{max}$ , а для автомобилей с дизелем - на скорости  $3/4$  от  $V_{max}$ .



Статистическая зависимость расхода топлива от рабочего объема двигателя для легковых автомобилей: 1 - в городском цикле; 2 и 3 - при  $V$  соответственно 120 и 90 км/ч

## Расчетное определение показателей топливной экономичности

Показатели КРТ и ТХ рассчитывают при установившемся движении. Остальные показатели включают, кроме установившегося движения, режимы разгона, торможения и остановки.

Для определения расходов топлива при  $V=const$  можно воспользоваться, в зависимости от имеющихся данных, формулой ), считая, в ней  $N_u=0$  (или  $P_u=0$ )

Все эти показатели относятся к движению по горизонтальной дороге, поэтому  $\psi=f_a$ . Если отсутствуют сведения о плотности применяемого топлива, можно считать для бензина  $\rho_m=0,75$  кг/л, для дизельного топлива  $\rho_m=0,82$  кг/л. При разгоне как расход  $G_m$ , так и скорость  $V$  непрерывно изменяются, следовательно, также изменяется и путевой расход. Удобнее, однако, применить следующий метод расчета. Обозначим  $dQ$  мгновенный расход топлива, а производную  $dQ/dV=q_i$  назовем коэффициентом расхода топлива. Но  $dQ=Q dt$  ( $Q$  — секундный расход при полной подаче топлива), тогда  $q_i=Q_{oc} dt/dV=Q_{oc}/j$ . Подставим полученное значение коэффициента расхода топлива в первое отношение и, разделив переменные, получим дифференциальное уравнение расхода топлива

$$dQ=Q_{oc} dV/j.$$

Входящие в правую часть  $Q_{oc}$  и  $j$  могут быть представлены как функции скорости. Расход топлива  $Q$  за время  $\tau$  торможения или остановки

$$Q = Q_{xx.c} \tau,$$

где  $Q_{xx.c}$  — секундный расход топлива на холостом ходу двигателя, кг/с.

Полный расход топлива в ездовых циклах складывается из расходов топлива на отдельных участках  $Q = \sum Q_i$ .

Полученный расход топлива (в кг) можно перевести в путевой расход топлива (в л на 100 км пути)

$$Q_s = Q 100 / (\rho_m S),$$

где  $S$  — путь цикла в км.

## Влияние конструктивных факторов на топливную экономичность

Одним из основных путей уменьшения расходов топлива автомобильным транспортом является дизелизация – замена карбюраторных двигателей дизелями. Преимущества дизелей по топливной экономичности определяются как более низкими значениями расхода  $g_{emin}$ , так и меньшей зависимостью  $g_e = f(\mathbf{i})$ . При уменьшении коэффициента  $\mathbf{i}$  от 100% до 10% у карбюраторных двигателей  $g_e$  увеличивается почти в 3 раза, а у дизелей только на 30%.

Эти преимущества позволяют при замене карбюраторного двигателя дизелем, снизить расход топлива на 25...30% у легкового автомобиля и 30...40% у грузового автомобиля и автобуса. Целесообразность применения дизелей тем больше, чем шире диапазон изменения  $\mathbf{i}$ .

Существенным фактором, сдерживающим применение дизелей, особенно на легковых автомобилях являются их большие, по сравнению с карбюраторными двигателями той же мощности, масса и размеры, а также повышенная шумность.

Топливная экономичность автомобилей, снабженных карбюраторными двигателями, существенно зависит от степени сжатия  $\varepsilon$ . Однако при больших значениях  $\varepsilon$  необходимо применять бензины с более высокими октановыми числами.

Улучшается топливная экономичность также при применении электронной системы зажигания, установке микропроцессоров для оптимизации регулирования состава смеси и опережения зажигания, внедрении карбюраторных двигателей с форкамерно-факельным зажиганием, использовании системы непосредственного впрыскивания бензина.

Для повышения топливной экономичности все более широкое распространение получает применение как дизелей, так и карбюраторных двигателей с наддувом и с охлаждением нагнетаемого воздуха. В результате применения наддува при неизменной максимальной мощности двигателя можно уменьшить удельные расходы на частичных нагрузках, что позволяет экономить до 10% топлива. Кроме того, при этом увеличивается запас крутящего момента, что также благоприятно сказывается на топливной экономичности.

Ведутся работы по созданию двигателей, у которых рабочий процесс близок к адиабатному, т.е. потери теплоты в охлаждающую среду ограничены. Полагают, что для таких двигателей значения  $g_e$  могут быть снижены по сравнению с существующими на 15...25%.

На расход топлива оказывает также влияние удельная мощность двигателя  $N_{y\partial}$ . Чем больше  $N_{y\partial}$ , тем при прочих равных условиях, меньше коэффициент  $\eta$  и, как было показано, за исключением значений  $\eta$ , близких к 100%, больше  $g_e$ , а следовательно, при заданных  $V$ ,  $\psi$  и  $i$  больше  $Q_s$ . Коэффициент использования мощности  $\eta$  при неизменной мощности  $N_{y\partial}$  зависит также от передаточного числа трансмиссии.

Если бы автомобиль имел бесступенчатую трансмиссию, то в принципе для некоторого диапазона мощности  $N_{y\partial}$  можно было бы обеспечить работу двигателя на оптимальном режиме по расходу топлива в достаточно широком диапазоне условий движения. При применении в трансмиссии ступенчатой коробки передач для каждого дорожных условий имеется оптимальная мощность  $N_{y\partial}$ , при которой  $Q_s$  будут минимальными.

Увеличение числа ступеней трансмиссии позволяет подбирать передаточные числа, обеспечивающие значение коэффициента и более близкие к оптимальным в различных условиях движения. В результате не только уменьшаются расход  $Q_s$ , но и его минимальное значение соответствует большим значениям мощности  $N_{уд}$  и, следовательно, большей скорости  $V_{ср}$ . В связи с этим наблюдается тенденция к увеличению числа передач. На легковых автомобилях все шире применяют пятиступенчатые, а на грузовых – многоступенчатые (8...20 ступеней) коробки передач.

На топливную экономичность влияет также выбор передаточных чисел трансмиссии и их распределение между ее механизмами.

У автомобилей, снабженных ступенчатыми трансмиссиями с неавтоматическим управлением, возможность выбора режимов работы, близких к оптимальным, обеспечивается за счет многоступенчатости и правильного выбора соотношений между передаточными числами отдельных ступеней. У некоторых грузовых автомобилей (например, семейства КамАЗ) одна и та же модель выпускается с различными передаточными числами главной передачи.

Следовательно, для автомобилей, работающих в более тяжелых дорожных условиях, передаточные числа трансмиссии должны быть большими, что может быть обеспечено за счет увеличения  $u_2$  при неизменной коробке передач

Изменение полной массы  $m_a$  автомобиля влияет на расход топлива в основном в результате изменения силы  $P_k$ . Значение  $m_a$  определяет также силы  $P_n$  и  $P_u$ , однако при квалифицированном вождении энергия, затрачиваемая на преодоление этих сил, в значительной своей части возвращается.

С помощью статистического анализа экспериментальных и расчетных данных установлена линейная зависимость расхода  $Q_s$  от массы  $m_a$

$$Q_s = a + b m_a,$$

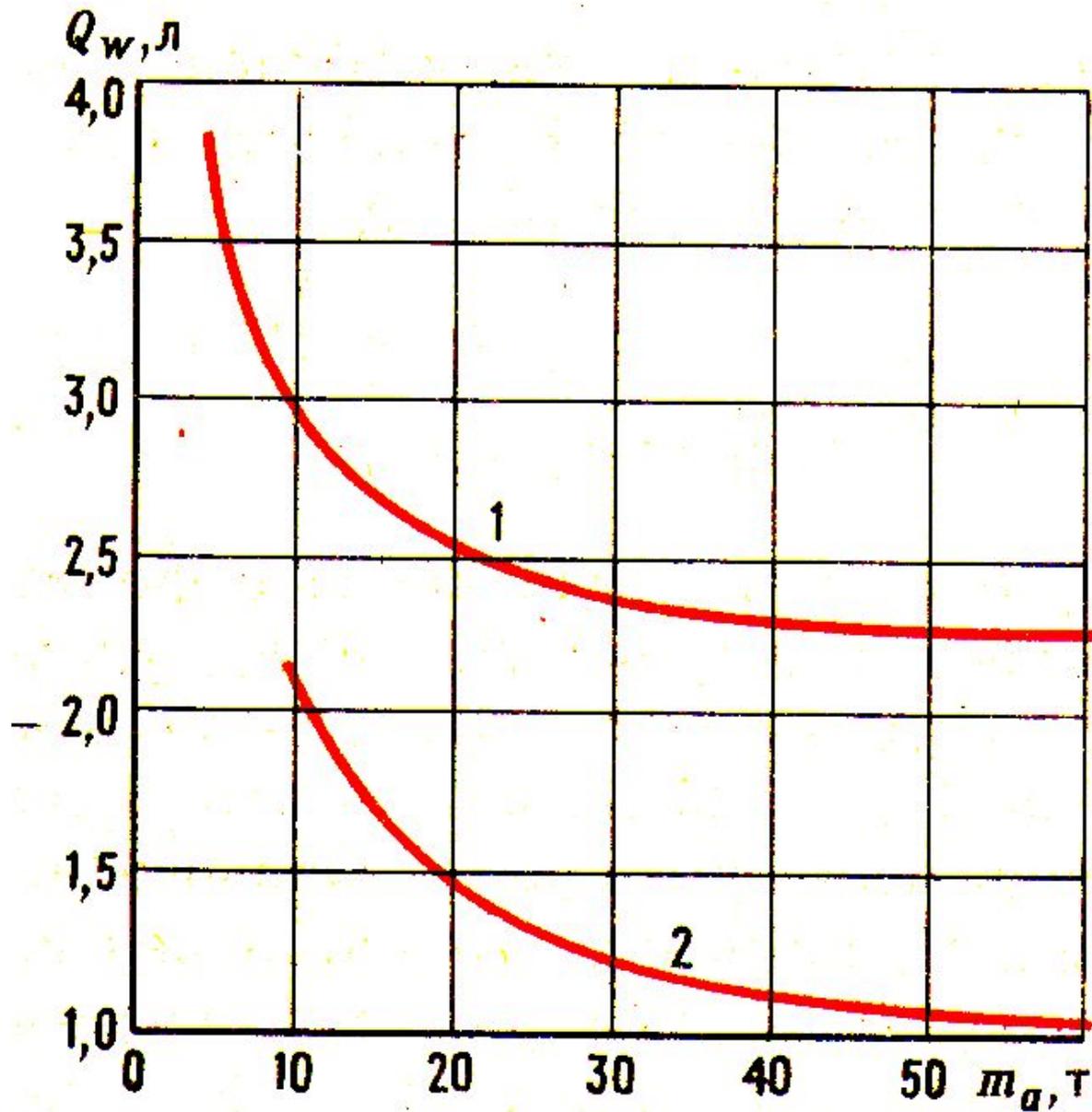
где  $a$  и  $b$  — коэффициенты регрессии, определенные для разных типов автомобилей и дорог.

Если правую и, левую части уравнения разделить на  $m_a$ , то получим уравнение удельного расхода топлива  $Q_w$  в л/(100 т км)

$$Q_w = b + a/m_a.$$

На рис. показаны кривые  $Q_w = f(m_a)$ , построенные для отечественных автомобилей.

Анализ приведенных данных позволяет установить, что при повышении полной массы, а следовательно, и полезной нагрузки в целом уменьшается удельный расход топлива. Дизельные автомобили имеют существенно более высокую топливную экономичность по сравнению с автомобилями, имеющими карбюраторные двигатели. Преимущество растет при увеличении полной массы. Влияние повышения полной массы автомобиля на топливную экономичность особенно эффективно при малых и средних значениях  $m_a$ .



Обобщенная зависимость среднего удельного расхода топлива отечественных автомобилей от полной массы: 1 - с карбюраторными двигателями; 2 — с дизелями

Удельный расход  $Q_w$  существенно зависит от собственной массы  $m_6$  автомобиля. Снижение массы  $m_6$  возможно при правильном выборе компоновочной схемы, создании равнопрочных конструкций различных элементов шасси и кузова, широком применении высокопрочных сталей, алюминия, пластмасс, профилей прогрессивных форм, тонколистового проката и т.д.

Значительное влияние на расход топлива оказывают аэродинамические свойства автомобиля. У легковых автомобилей затраты мощности на преодоление сопротивления воздуха уже при скоростях порядка 15 м/с превышают затраты на преодоление сопротивления качению и возрастают пропорционально  $V^3$ . У лучших моделей современных легковых автомобилей коэффициент  $k_6$  ниже среднего приблизительно на 25%, что позволяет получить экономию топлива порядка 10%. Улучшение топливной экономичности за счет совершенствования аэродинамических характеристик имеет существенное значение для грузовых автомобилей и даже автопоездов большой грузоподъемности. Реализация полного комплекса мероприятий по улучшению аэродинамики автопоезда может обеспечить снижение сопротивления воздуха в диапазоне скоростей 15...25 м/с почти на 50% и уменьшение расхода топлива на 10...15%.

Существенное влияние на топливную экономичность автомобилей оказывают энергетические характеристики шин.

Лучшие образцы современных шин имеют коэффициент  $f_a$  значительно меньший, чем шины среднего качества. При уменьшении коэффициента  $f_a$  на 10% в наиболее часто встречающихся условиях эксплуатации расход топлива снижается на 2,5...3,5%.

Из рис. ТЭХ видно, что с увеличением скорости  $V$  расход  $Q_s$  при малых скоростях уменьшается, достигает минимального значения при скорости  $V_{onm}$ , а затем существенно возрастает. Это объясняется тем, что с изменением скорости  $V$  одновременно изменяются две величины, входящие в уравнение расхода топлива:  $g_e$  и  $P_v$  (или  $N_v$ ).

При малых скоростях значение  $P_v(N_v)$  невелико и почти не влияет на расход  $Q_s$ . Основное влияние оказывает изменение расхода  $g_e$ , связанное с изменением коэффициента  $\eta$ . При увеличении скорости коэффициент  $\eta$  обычно несколько возрастает, в связи с чем расход  $g_e$  уменьшается, а следовательно, снижается и расход  $Q_s$ .

Начиная с некоторой скорости сопротивление воздуха оказывает более существенное влияние на расход топлива - уменьшение  $Q_s$  замедляется.

При  $V > V_{onm}$  увеличение расхода топлива за счет возрастания  $P_v(N_v)$  перекрывает уменьшение его за счет снижения  $g_e$ .

У некоторых автомобилей минимум  $Q_s$  совпадает с  $V_{min}$ . Такая зависимость более характерна для дизельных автомобилей, у которых расход  $g_e$  мало зависит от коэффициента  $\eta$  и легковых автомобилей, имеющих большую максимальную скорость, у которых даже при скорости  $V_{min}$  на высшей передаче сопротивление воздуха оказывает существенное влияние на

Начиная со скоростей порядка 15 м/с на зависимость  $Q_s = f(V)$  оказывает также влияние увеличение коэффициента  $f_a$ .

Характер зависимости  $Q_s = f(V)$  можно в некоторых пределах изменять при использовании соответствующих регулировок топливоподающей аппаратуры у дизелей, карбюратора и системы зажигания у карбюраторных двигателей.

Значения скорости  $V_{opt}$  обычно невелики (7...8 м/с для грузовых и 10...12 м/с для легковых автомобилей), поэтому оптимизировать процесс движения только по топливной экономичности нецелесообразно. Оптимальная по расходу топлива скорость является только одним из факторов, влияющим на выбор скорости, обеспечивающей оптимальность процесса перевозок.

На топливную экономичность большое влияние оказывает грузоподъемность грузовых автомобилей и коэффициент использования грузоподъемности  $\gamma$ , равный отношению массы фактически перевозимого груза к массе номинальной грузоподъемности  $m_n$ . Для пассажирских автомобилей такое же значение имеет пассажироместимость и степень ее использования.

Для сравнительной оценки топливной экономичности автомобилей различной грузоподъемности или пассажироместимости и оценки влияния степени их использования удобно пользоваться удельными показателями  $Q_w$ , характеризующими расход в литрах, отнесенных к 100 км пути и единице массы перевозимого груза или на одного пассажира.

Наибольшая экономия топлива на единицу массы перевозимого груза наблюдается при использовании автопоездов. Это объясняется, прежде всего лучшим использованием массы. Для прицепов  $\eta_e = 2 \dots 2,5$ ; для полуприцепов  $\eta_e = 3 \dots 4$ . Кроме того, уменьшается отношение  $P_e/m_n$  поскольку при возрастании грузоподъемности автопоезда по сравнению с одиночным автомобилем приблизительно в 2 раза сила  $P_e$  возрастает лишь на 20...25% (в основном за счет увеличения коэффициента  $k_e$ ). Наконец, при рациональном подборе массы прицепа (полуприцепа) снижается расход  $g_e$  за счет увеличения коэффициента  $\eta$ .

Расход топлива  $Q_s$  существенно зависит от умения водителя выбирать режимы работы двигателя, обеспечивающие при заданных дорожных условиях и выбранной скорости, минимальные расходы  $g_e$ , а также использовать энергию, запасенную автомобилем при движении на подъем и при разгоне. Было показано, что при неизменных условиях движения расход  $g_e$ , а следовательно, и расход  $Q_s$ , зависят от того на какой передаче происходит движение. Из имеющихся передач опытный водитель выберет ту, при которой  $Q_s$  наименьший. В большинстве случаев это высшая из передач, обеспечивающих в данных условиях работу двигателя с коэффициентом использования, не превышающим 80...90%.

Например, у ВАЗ-2101 при движении по хорошей горизонтальной дороге с  $V=40$  км/ч, если за 100% принять путевой расход на четвертой передаче, то на третьей он будет равен 112%, на второй — 170%, а на первой — 300%. Поскольку расход  $g_e$  зависит не только от  $\mathbf{i}$ , но и от частоты  $n$ , причем минимальные значения  $g_e$  соответствуют средним частотам, то при движении с малыми скоростями иногда целесообразнее использовать более низкие передачи. На расход топлива оказывает влияние характер разгона. Экономия топлива достигается в результате использования равномерных разгонов, например для грузовых автомобилей с  $j=1$  м/с<sup>2</sup>.

Независимо от  $u_m$  мощность, затрачиваемая двигателем, зависит только от условий движения ( $V, \psi, j$ ). Однако безвозвратно теряется (превращается в другие виды) только механическая энергия, идущая на потери в трансмиссии, преодоление сопротивлений качению и воздуха. Энергия, затрачиваемая на разгон и преодоление подъема, при правильном вождении может быть в значительной степени использована. Доля этих затрат может быть весьма значительной. Например при разгоне с места до  $V=60$  км/ч автопоезда массой  $m_a=22,5$  т на преодоление сил инерции замачивается около 70% всей энергии, расходуемой двигателем; при разгоне на прямой передаче от 40 до 90 км/ч доля затрат составляет около 15%, при движении на подъеме  $i=3\%$  доля затрат на преодоление сопротивления подъему — около 55%.

От стиля вождения, предусматривающего возможно большее использование кинетической и потенциальной энергии, в значительной степени зависит экономия топлива (до 25%). Следует по возможности реже использовать тормозные системы — только в аварийных ситуациях и для окончательной остановки после снижения скорости путем выбега или торможения двигателем. Для грузовых автомобилей в городских условиях интенсивность торможения для поддержания высокой топливной экономичности не должна превышать  $0,6...0,9 \text{ м/с}^2$  — для легковых —  $1,1...1,4 \text{ м/с}^2$ . Рациональное использование наката позволяет экономить до 4% топлива. Важна также рациональная организация движения на подъемах и спусках, использование методов динамического преодоления подъемов, правильный выбор передач, выбега. Чрезмерное увеличение скорости движения приводит к большому перерасходу топлива.

Для экономии топлива могут быть рекомендованы следующие приемы вождения:

- оптимальная экономичная скорость движения - на горизонтальном участке дороги на 25% ниже максимальной;
- средняя частота  $n_{cp}$  должна быть на 30...40% ниже номинальной;
- на горизонтальном участке дороги необходимо использовать более высокие передачи, отдавая предпочтение прямой передаче;
- во всех случаях необходимо обеспечивать равномерное движение автомобиля без резких разгонов и торможений и лишних

Техническое состояние автомобиля оказывает существенное влияние как на удельные расходы топлива, так и на силы сопротивления движению. Увеличение расхода  $g_e$  может явиться следствием различных нарушений работы систем питания и зажигания, регулировки зазоров клапанного механизма и фаз газораспределения, износов цилиндров и колец, образования нагара на стенках камер сгорания и днищах поршней, неисправностей системы охлаждения и смазочной системы, применения топлива с низким октановым числом. Основными причинами увеличения сил сопротивления движению являются снижение давления воздуха в шинах и нарушение схождения колес. К увеличению расходов топлива может также привести отсутствие свободного хода педали сцепления, поскольку при этом возможно постоянное пробуксовывание фрикционных элементов на что затрачивается энергия двигателя. К таким же результатам приводит чрезмерное уменьшение зазоров в тормозных механизмах.

Своевременное техническое обслуживание, основанное на

## Применение топлив не нефтяного происхождения

В связи с истощением запасов нефти и увеличением трудоемкости ее добычи, большое внимание уделяется использованию на автотранспорте альтернативных топлив не нефтяного происхождения. Они могут полностью заменять топлива, получаемые из нефти, или служить добавками, снижая их расход. Наибольший интерес представляют топлива, при использовании которых не требуется существенных изменений существующих конструкций двигателей. Разработана технология получения топлив подобных получаемым из нефти, с использованием каменного угля, горючих сланцев и т.п. Однако стоимость таких топлив еще довольно высока. Более перспективным является применение в качестве топлив спиртов (метанол, этанол) или их смесей с бензином. Спирты обладают большим, чем бензин октановым числом, но меньшей теплотой сгорания, высокой удельной теплотой парообразования и низкой температурой кипения. При использовании смеси бензина, 15% метанола и 7% изобутилового спирта расход бензина может быть снижен на 14%, а при отдельной подаче метанола и бензина — на 20%. Ведутся работы по применению в качестве топлива водорода. Значительные успехи достигнуты при использовании бензиноводородных смесей, позволяющих существенно уменьшить расход бензина.

Наибольшее практическое значение имеет использование углеводородных газов. Эти газы могут применяться в сжиженном виде при давлении 1,6...2,0 МПа (бутан, пропан и их смеси) или в виде, в котором их добывают – метан, этан и др.

Применение углеводородных газов, кроме экономии топлив нефтяного происхождения, приводит также к снижению потребления смазочных материалов и уменьшению износов двигателя. Однако меньшая теплота сгорания природных газов обуславливает при одинаковой с бензиновым двигателем степени сжатия снижение мощности двигателя на 15...20%, а момента  $M_{Kmax}$  на 20...25%. В результате перевозки баллонов большой массы, содержащих газ, уменьшается на 10...15% грузоподъемность и более чем в 2 раза - запас хода из-за ограниченности запасов топлива (нецелесообразно носить лишние баллоны).

Однако за счет повышения степени сжатия и применения баллонов из полимерных или композиционных материалов эти недостатки могут быть в значительной степени устранены.

## **Взаимосвязь топливной экономичности с экологической безопасностью**

В результате работы автомобильного двигателя в атмосферу выбрасываются вредные вещества, отрицательно влияющие на окружающую среду. На долю отработавших газов автотранспортных средств приходится свыше 50% всех вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, а в городах стран с большим автомобильным парком автомобили являются основным источником загрязнения воздуха. За каждый километр пробега автомобиль выбрасывает в атмосферу около 100 г. токсичных газов.

Практически все мероприятия, направленные на улучшение топливной экономичности, влияют как на количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ, так и на их состав.

Вредными компонентами отработавших газов являются оксид углерода  $\text{CO}$ , углеводороды  $\text{CH}$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$ , твердые частицы (сажа), оксиды серы, соли свинца. Установлены следующие нормы среднесуточных предельно допустимых концентраций в атмосфере (в  $\text{г/м}^3$ ):  $\text{CO}$  — 0,0010,  $\text{CH}$  — 0,0015,  $\text{NO}_2$  — 0,000085

Большинство мероприятий, направленных на повышение топливной экономичности, приводит к снижению содержания в отработавших газах СО — сильно токсичного вещества. Например и отработавших газов дизелей содержание СО ниже более чем в 10 раз, чем и отработавших газов карбюраторных двигателей. К снижению СО приводят также все мероприятия, улучшающие смесеобразование и сгорание топлива в цилиндрах, более равномерное распределение топлива по цилиндрам, правильное дозирование, применение электронных и электромеханических систем впрыскивания, бесконтактных транзисторных систем зажигания, регулирование оптимальной температуры воды, использование форкамерно-факельных процессов и послойного зажигания. Существенно меньшее количество СО содержится в отработавших газах двигателей, работающих на природном газе и бензоводородных смесях.

Однако некоторые мероприятия, направленные на снижение расхода топлива, приводят к увеличению содержания в отработавших газах других токсичных составляющих. В отработавших газах дизелей повышается содержание  $\text{NO}_x$ , СН и особенно опасных ароматических углеводородов (бензопирена), сажи. Повышение степени сжатия, улучшающее топливную экономичность карбюраторных двигателей, сопровождается увеличением  $\text{NO}_x$ , а применение антидетанационных присадок в бензине для двигателей с высокими степенями сжатия приводит к выбросам в атмосферу сильно действующих токсичных солей свинца.

Количество токсичных веществ в отработавших газах в значительной степени зависит от технического состояния систем и агрегатов автомобиля, которые влияют на расход топлива. Своевременное техническое обслуживание этих систем и агрегатов может существенно замедлить повышение токсичности отработавших газов автомобилей, находящихся в эксплуатации.

# Контрольные вопросы

1. Что служит основным измерителем топливной экономичности?
2. Что является оценочными показателями топливной экономичности?
3. Какие факторы влияют на расход топлива?
4. Что такое топливно-экономическая характеристика?
5. Порядок расчета топливно-экономической характеристики?
6. В каких пределах находится величина удельного расхода топлива  $g_e$  у бензиновых и дизельных двигателей?
7. Особенности экспериментального определения показателей топливной экономичности?
8. Расчетное и экспериментальное определения показателей топливной экономичности?
9. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на топливную экономичность?
0. Применение альтернативных видов топлива?
1. Взаимосвязь топливной экономичности с экологической безопасностью?
2. Какие приемы вождения позволяют экономить топливо?



Топливная  
ЭКОНОМИЧНОСТЬ