

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта
Кафедра "Автотранспортная и техносферная безопасность"

Конспект лекций
по дисциплине: "Безопасность транспортных средств"
для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 23.03.01.
"Технология транспортных процессов"

Составитель:
доцент кафедры АТБ
Ш.А. Амирсейидов

Владимир – 2015 г.

1. ИЗМЕРИТЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ ТЯГОВОЙ ДИНАМИЧНОСТИ

Тяговая динамичность автомобиля имеет первостепенное значение для повышения его производительности и снижения затрат на перевозки. Чем динамичнее автомобиль, тем быстрее он перевозит грузы и пассажиров, тем меньше он тратит времени на передвижение, тем выше его средняя скорость. Условия движения автомобиля непрерывно меняются, что приводит к изменению его скорости. Для безопасности движения необходимо, чтобы скорость в любой момент точно соответствовала дорожным условиям и психофизиологическим возможностям водителя.

Во время дорожного движения происходят события, нарушающие этот процесс и влекущие за собой вредные последствия. Тяжесть последствий, как правило, возрастает с увеличением скорости. Таким образом, для дорожного движения характерно наличие двух тенденций. С одной стороны, желательно увеличить скорость транспортного потока, так как это сокращает время доставки грузов и пассажиров, повышает производительность подвижного состава, с другой — верхний предел скорости ограничивается опасностью возникновения ДТП. Поэтому повышение скорости автомобилей возможно лишь при одновременном обеспечении безопасности их движения. Повышение показателей тяговой динамичности автомобиля должно сопровождаться улучшением его конструктивной безопасности, усовершенствованием дорожных условий и организации движения.

При оценке тяговой динамичности автомобиля используют такие измерители, как скорость, ускорение, время и путь разгона или наката. Для безопасности движения имеют значение следующие показатели тяговой динамичности: максимальная скорость V_{\max} и ускорение j_{\max} , а также минимальные время t_p и путь S_p разгона на горизонтальной дороге с твердым покрытием хорошего качества.

При определении этих показателей считают, что возможности автомобиля ограничены лишь мощностью двигателя, работающего с полной нагрузкой, и сцеплением шин с дорогой. Остальные ограничения, накладываемые, например, комфортабельностью или условиями работы водителя, не учитывают. В связи с этим рассматривают лишь прямолинейное движение автомобиля, особенности же криволинейного движения исследуют в разделах, посвященных устойчивости и управляемости автомобиля.

2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА АВТОМОБИЛЬ

Силы и моменты, действующие на автомобиль, который разгоняется на подъеме, показаны на рис. 3. Из теории автомобиля известно уравнение движения автомобиля, связывающее эти силы:

$$P_T - P_i - P_d - P_v = 0, \quad (2)$$

где P_T — сила тяги на ведущих колесах автомобиля; P_i — приведенная сила инерции автомобиля; $P_d = P_k + P_p$ — сила сопротивления дороги (P_k — сила сопротивления качению; P_p — сила сопротивления подъему); P_v — сила сопротивления воздуха.

Рассмотрим последовательно эти силы.

Сила тяги P_T представляет собой отношение момента M_T на полуосях к радиусу r ведущих колес при равномерном движении автомобиля:

$$P_T = M_T/r = M_e \cdot u_{TP} \cdot \eta_{TP}/r \quad (3)$$

где M_e —эффективный крутящий момент двигателя, $\text{Н}^*\text{м}$; u_{TP} и η_{TP} — передаточное число и КПД трансмиссии.

Эффективный крутящий момент двигателя, работающего с полной нагрузкой, т. е. при полностью открытой дроссельной заслонке (карбюраторный двигатель) или максимальной подаче топлива в цилиндры (дизель), определяют по экспериментальным графикам или вычисляют по эмпирическим формулам.

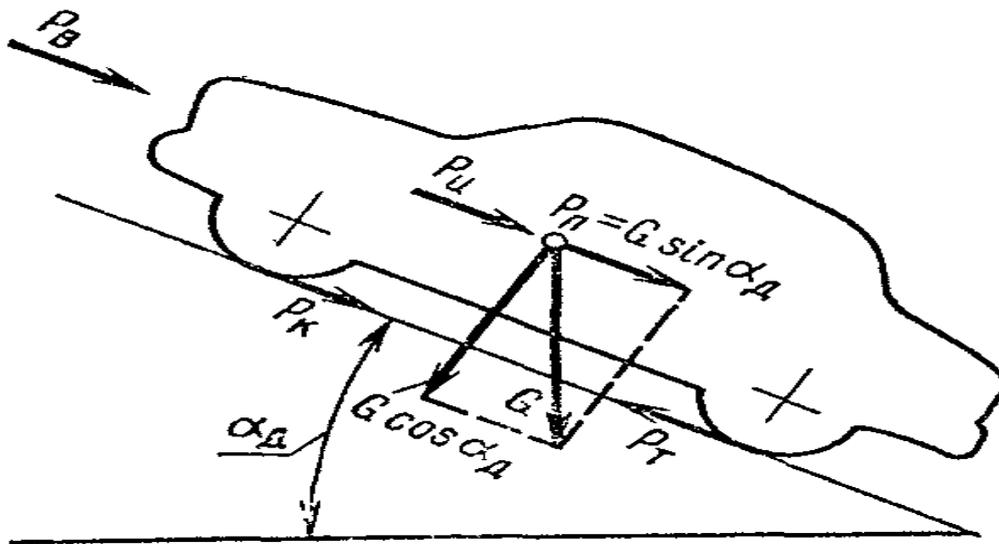


Рис 3
Силы, действующие на автомобиль при разгоне на подъеме

Наибольшее распространение получила формула

$$M_e = \frac{N_{e \max}}{\omega_N} \left[a_M + b_M \frac{\omega}{\omega_N} - c_M \left(\frac{\omega}{\omega_N} \right)^2 \right],$$

где $N_{e \max}$ — максимальная мощность двигателя;

ω_N - угловая скорость коленчатого вала при $N_{e \max}$, рад/с;

a_m , b_m и c_m — эмпирические коэффициенты; для четырехтактных карбюраторных двигателей $a_m = b_m = c_m = 1$ для двухтактных дизелей $a_m = 0,87$; $b_m = 1,13$; $c_m = 1$; для четырехтактных дизелей $a_m = 0,53$; $b_m = 1,56$; $c_m = 1,09$; ω — угловая скорость коленчатого вала, рад/с.

Скорость V автомобиля связана с угловой скоростью ω коленчатого вала следующим выражением:

$$V = \omega_r / U_{TP},$$

поэтому формулу (3) можно написать следующим образом:

$$P_T = \frac{N_{e \max} \eta_{TP}}{V_N} \left[a_M + b_M \frac{V}{V_N} - c_M \left(\frac{V}{V_N} \right)^2 \right] \quad (4)$$

где V_N — скорость автомобиля, соответствующая максимальной мощности двигателя, м/с.

Значения $N_{e_{\max}}$, ω_n и других параметров некоторых отечественных автомобилей приведены в табл. 2.

Параметры тяговой динамичности отечественных автомобилей,
влияющие на безопасность

Автомобиль	$N_{e_{\max}}$, кВт	ω_n рад/с	U_{TP}^x	r , м	W_B	V_{MAX}	J_{\max}^x	$t_P^{чч}$	$S_P^{чч}$
ЗАЗ-968А	29,4	440	4,0	0,28	0,56	32,2	0,57	29,0	550
ВАЗ-2103	56,7	560	4,1	0,28	0,56	41,7	0,63	22,0	420
«Москвич-2140»	55,2	580	4,2	0,29	0,59	38,9	0,55	20,0	369
ГАЗ-24 «Волга»	70,7	450	4,1	0,31	0,69	40,3	0,73	22,0	450
ГАЗ-15 «Чайка»	162,0	420	3,4	0,35	0,86	51,4	0,79	15,0	-
ЗИЛ-117	221,0	440	3,5	0,35	0,80	55,5	-	13,5	268
РАФ 2203	70,0	450	4,1	0,33	1,10	33,3	0,50	13,3	-
ПАЗ – 672	84,6	320	6,3	0,46	2,03	22,2	0,28	35,0	-
ЛАЗ-695Н	110,4	320	7,5	0,49	2,52	22,0	0,28	-	-
ЛиАЗ-677	132,5	320	8,6	0,49	2,36	19,4	0,38	44,0	-
УАЗ – 451	51,5	400	5,12	0,38	2,08	26,7	0,47	-	-
ГАЗ-53А	84,6	320	6,8	0,46	2,53	23,6	0,34	-	-
ЗИЛ-130	110,4	320	6,3	0,48	3,02	23,6	0,25	-	-
КамАЗ – 5320	154,6	260	5,9	0,49	4,74	23,6	0,20	42,5	509
МАЗ-550А	132,5	210	7,2	0,50	3,64	23,6	0,23	-	-

* При включенной высшей передаче в коробке передач

** Интервалы скорости разгона, для легковых автомобилей 0—27,7 м/с, для автобусов 0—16,7 м/с, для автомобиля КамАЗ 320 55—16,7 м/с

КПД трансмиссии зависит от трения между зубьями шестерен, в подшипниках и сальниках трансмиссии, от количества и вязкости масла, залитого в картеры коробки передач, и ведущих мостов, а также от величины передаваемого момента. При работе трансмиссии с полной нагрузкой ее КПД имеет следующие значения:

Легковые автомобили	0,90—0,92
Грузовые автомобили и автобусы	0,82—0,85
Грузовые автомобили повышенной проходимости	0,80—0,85

Силу сопротивления дороги R_d определяют по формуле:

$$R_d = G (f \cos \alpha_d + \sin \alpha_d), \quad (5)$$

где G — вес автомобиля, Н; f — коэффициент сопротивления качению; α_d — угол продольного уклона дороги.

На подъемах угол α_d считают положительным, на спусках — отрицательным. На дорогах с твердым покрытием угол α_d не превышает 4—5°, и без большой ошибки можно написать

$$R_d = G (f + \sin \alpha_d)$$

Коэффициент сопротивления качению зависит главным образом от типа и состояния шин и дороги, а также от скорости движения автомобиля. Для определения этого коэффициента можно воспользоваться эмпирической формулой

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V^2}{a_K} \right), \quad (6)$$

где f_0 — коэффициент сопротивления качению при малых скоростях движения; Он — эмпирический коэффициент, зависящий от типа шин и равный в среднем 1400—1600.

При приближенных расчетах коэффициент f_0 часто считают постоянным, равным его среднему значению. На дорогах с асфальто- и цементобетонным покрытием, находящимся в отличном состоянии, $f_0 = 0,014$ — $0,018$, а в удовлетворительном состоянии $f_0 = 0,018$ — $0,020$.

Выражение $(f \cos \alpha_d + \sin \alpha_d)$ называют коэффициентом сопротивления дороги и обозначают ψ_d . Тогда сила сопротивления дороги

$$P_d = C \psi_d$$

Силой сопротивления воздуха P_B называют равнодействующую элементарных сил, распределенных по всей поверхности автомобиля. Точку приложения этой силы называют метацентром автомобиля. Сила сопротивления воздуха

$$P_B = K_B F_B V^2 = W_B V^2, \quad (7)$$

где K_B — коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент обтекаемости), зависящий от формы и качества отделки поверхности автомобиля, $\text{Нс}^2/\text{м}^4$, F_B — лобовая площадь автомобиля, м^2 , W_B — фактор обтекаемости, $\text{Нс}/\text{м}^2$

Коэффициент обтекаемости K_B численно равен силе сопротивления воздуха, создаваемой 1 м^2 лобовой площади автомобиля при его движении со скоростью 1 м/с . Лобовой площадью F_B автомобиля называют площадь его проекции на плоскость, перпендикулярную к продольной оси автомобиля. В табл. 3 приведены средние значения коэффициента обтекаемости K_B и лобовой площади F_B .

Таблица 3 - Средние значения K_B и F_B

Автомобили	$K_B, \text{Нс}/\text{м}^4$	$F_B, \text{м}^2$
Легковые	0,2 - 0,5	1,5 - 2,8
Грузовые	0,6 - 0,7	3,0 - 5,0
Автобусы	0,24 - 0,40	4,5 - 6
Гоночные и спортивные	0,13 - 0,15	1,3 - 1,5

Приведенная сила инерции P_i автомобиля пропорциональна его массе и ускорению j :

$$P_i = M \delta_{BP} j, \quad (8)$$

где M — масса автомобиля; δ_{BP} — коэффициент учета вращающихся масс, определяемый по формуле:

$$\delta_{BP} = 1 + \frac{J_M \eta_{TP} u_{TP} + J_K}{M_a r^2},$$

где J_M — момент инерции маховика и связанных с ним деталей двигателя и сцепления, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, J_K — суммарный момент инерции всех колёс автомобиля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$. Коэффициент δ_{BP} показывает, во сколько раз энергия, затрачиваемая при разгоне вращающихся и поступательно движущихся деталей автомобиля, больше энергии, необходимой для разгона автомобиля, все детали которого движутся только поступательно.

Если точное значение моментов инерции J_M , и J_K неизвестно, то коэффициент δ_{BP} определяют по эмпирической формуле

$$\delta_{BP} = 1 + (\delta' + \delta'' u_K) M_a / M,$$

где $\delta' \approx \delta'' \approx 0,03 - 0,05$; u_K — передаточное число коробки передач; M_a — масса автомобиля с полной нагрузкой, кг ; M — масса автомобиля с данной нагрузкой, кг .

Для случая движения автомобиля с отсоединенным от трансмиссии двигателем коэффициент учета вращающихся масс обозначают буквой δ_H и определяют по формуле

$$\delta_H = 1 + J_K / (M r^2) \approx 1 + 0,05 M_a / M.$$

3. МАКСИМАЛЬНЫЕ СКОРОСТЬ И УСКОРЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ

Максимальную скорость автомобиля можно определить аналитически или графоаналитически. Для аналитического расчета подставим в формулу (2) значения сил R_t , R_d , R_v и R_i согласно выражениям (4)—(8)

$$\frac{N e_{\max} \eta_{TP}}{V_N} \left[a_M + b_M \frac{V}{V_N} - c_M \left(\frac{V}{V_N} \right)^2 \right] - G \left[f_0 \left(1 + \frac{V^2}{a_K} \right) + \sin \alpha_D \right] - M \delta_{BP} j - W_B V^2 = 0.$$

Сгруппируем члены с одинаковыми степенями V :

$$A_C V^2 - B_C V - C_C + D_C j = 0,$$

$$\text{где - } \begin{aligned} A_C &= \frac{N e_{\max} \eta_{TP}}{V_N^2} C_M + \frac{G f_0}{A_K} + W_B \\ B_C &= \frac{N e_{\max} \eta_{TP}}{V_N^2} C_M - G (f_0 + \sin \alpha_D) \\ C_C &= \frac{N e_{\max} \eta_{TP}}{V_N^2} A_M - G (f_0 + \sin \alpha_D) \\ D_C &= M \delta_{BP} \end{aligned}$$

При максимальной скорости $j = 0$ и

$$A_C V^2_{\max} - B_C V_{\max} - C_C = 0$$

Решая это уравнение, находим

$$V_{\max} = (B_C + \sqrt{B_C^2 + 4 A_C C_C}) / (2 A_C).$$

При графоаналитических расчетах обычно применяют метод силового баланса автомобиля.

Пользуясь формулой (4), определяют величину силы тяги для нескольких значений скорости и по точкам строят кривую P_T для высшей передачи в координатах $V - P$ (рис. 4, а). В нижней части графика наносят кривую P_D для одного значения угла α_d . Вверх от этой кривой откладывают величины сопротивления воздуха. Поскольку нужно определить максимальную скорость, то при расчете ограничиваются небольшим числом точек (три-четыре), задаваясь значениями V , близкими к V_N . Кривая суммарного сопротивления $P_D + P_B$ определяет силу тяги, необходимую для движения автомобиля по данной дороге с $V = \text{const}$. Если кривая силы тяги P_T проходит выше кривой $P_D + P_B$, то отрезки P_3 , заключенные между этими кривыми, представляют собой нереализованную часть (запас) силы тяги. Запас силы тяги можно использовать для преодоления повыше того сопротивления дороги (увеличение f или α_d) или для разгона автомобиля. Максимальную скорость V_{max} находят по абсциссе точки пересечения кривых P_T и $P_D + P_B$, так как при этом запас силы тяги, а следовательно, и ускорение равны нулю.

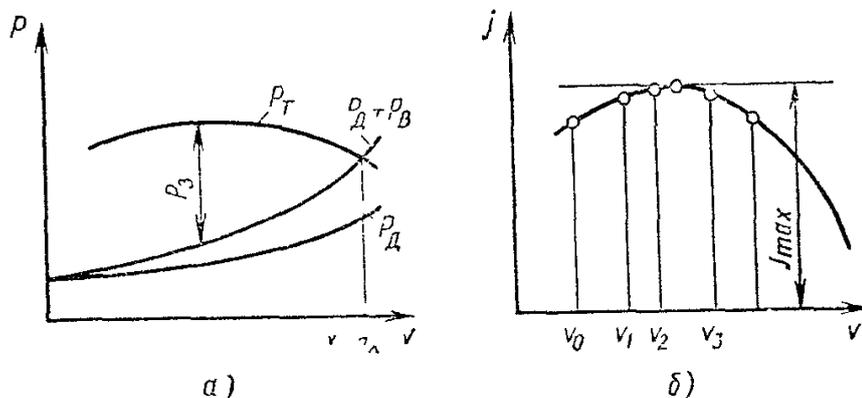


Рисунок 4 - Параметры тяговой динамичности автомобиля:

а - график определения V_{max} методом силового баланса;

б - изменение ускорения при движении с включённой высшей передачей.

Максимальные скорости некоторых отечественных автомобилей приведены в табл. 2. Максимальная скорость автомобиля является показателем его предельных возможностей. В практике дорожного движения эту скорость автомобили развивают довольно редко. Даже на пустынных участках загородных дорог водители стремятся вести автомобиль со скоростью несколько меньшей, чем максимально возможная. Это, с одной стороны, объясняется напряженным режимом работы агрегатов автомобиля, возникновением неприятных вибрации и шума, перегревом двигателя. С другой стороны, водитель, управляя быстро движущимся автомобилем, испытывает большую психофизиологическую нагрузку, так как при этом резко возрастает объем воспринимаемой и перерабатываемой им информации, увеличивается число рабочих движений. Кроме того, дорожные условия даже на лучших автомагистралях редко сохраняются постоянными на большом протяжении, что вынуждает водителя изменять скорость движения автомобиля.

Максимальное ускорение автомобиля также можно определить двумя способами аналитическим и графоаналитическим

Для аналитического определения ускорения воспользуемся формулой (9), решив ее относительно j :

$$j = (-AcV^2 + BcV + Cc)/Dc \quad (10)$$

Продифференцировав выражение (10) по V и приравняв производную нулю, найдем значение скорости, при которой ускорение автомобиля достигает максимального значения:

$$V = Bc/(2Ac).$$

Подставив это значение в формулу (9), определим максимальное ускорение на данной передаче:

$$j_{\max} = \left(\frac{Bc^2}{4Ac} + Cc\right)/Dc,$$

При графоаналитическом определении j_{\max} задаются несколькими значениями скорости и рассчитывают по формуле (10) величины ускорения при работе двигателя с полной нагрузкой. Построив по точкам в координатах $V - j$ кривую ускорений, проводят касательную к ней, параллельную оси абсцисс, как показано на рис 4,б Ордината точки касания определяет величину ускорения, максимально возможного на данной дороге. Значения j_{\max} для некоторых отечественных автомобилей приведены в табл. 2.

При разгоне с максимальным ускорением возникают большие инерционные нагрузки, неприятно действующие на пассажиров и водителя. Поэтому в обычных условиях движения ускорение не превышает (0,5—0,8) j_{\max} , достигая предельных значений лишь в особых случаях: например, при динамическом преодолении крутого подъема, в процессе обгона или при выходе из сложной дорожной ситуации.

4 ВРЕМЯ И ПУТЬ ОБГОНА

Обгон представляет собой сложный и опасный маневр, вызванный желанием водителя двигаться без потерь времени Обгон связан с выездом на соседнюю полосу движения и требует свободного пространства перед обгоняющим автомобилем Трудность правильного выполнения обгона в сочетании с высокой скоростью требует от водителя безошибочного расчета и точных действий по управлению автомобилем Малейшая неосмотрительность при обгоне может привести к тяжелым последствиям Чем больше скорость транспортного потока, тем больше вероятность ДТП при обгоне. Так, по данным США, при скорости транспортного потока около 11 м/с количество аварии при обгоне, при которых люди получили травмы, составило 14%. При скорости потока, равной 33 м/с, количество таких аварий возросло до 65%.

Манёвр обгона можно разделить на три фазы отклонение обгоняющего автомобиля влево и выезд на соседнюю полосу движения; движение слева от обгоняемого автомобиля и впереди него, возвращение обгоняющего автомобиля на свою полосу впереди обгоняемого автомобиля.

Для простоты расчетов время, затраченное на поперечное смещение обгоняющего автомобиля и переход его с одной полосы движения на другую, не учитывают, так как это время невелико по сравнению с общим временем обгона. Не учитывают и увеличение пути автомобиля, вызванное этим смещением.

В зависимости от условий движения на дороге обгон может совершаться либо с постоянной, либо с возрастающей скоростью. Обгон с постоянной скоростью характерен для свободного, нестесненного движения автомобиля в загородных условиях. Тогда водитель обгоняющего автомобиля 1 (рис. 5) имеет впереди себя достаточное пространство для предварительного разгона до большей скорости V_1 . Эта скорость должна быть больше скорости V_2 обгоняемого автомобиля 2. Время $t_{об}$ и расстояние $S_{об} = S_1$, необходимые в этом случае для безопасного обгона, определяют следующим образом.

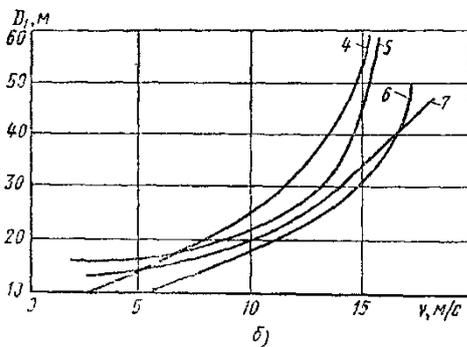
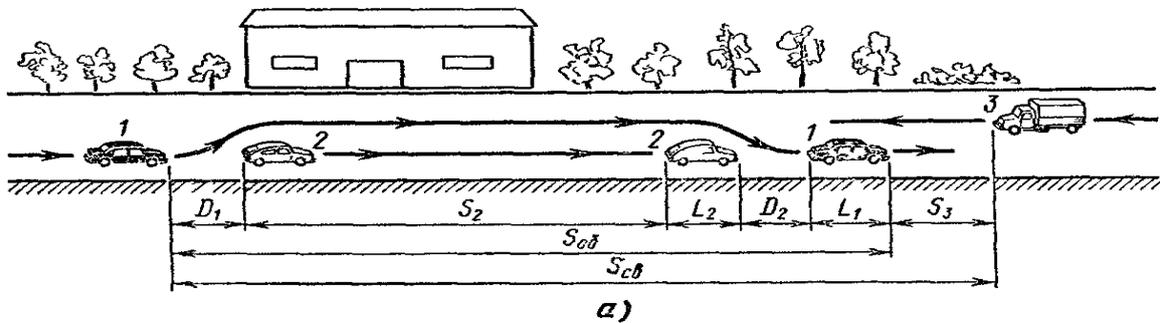


Рис 5 - Обгон автомобиля
 а - схема обгона, б - дистанции безопасности при следовании автомобиля в потоке, 1 - обгоняющий автомобиль, 2 - обгоняемый автомобиль, 3 - встречный автомобиль. 4 - грузовой автомобиль следует за легковыми, 5 - грузовой автомобиль движется за грузовым б - легковой автомобиль следует за легковым 7 - легковой автомобиль следует за грузовым

Путь обгона

$$S_{об} = S_1 = D_1 + D_2 + S_2 + L_1 + L_2 \quad (11)$$

или

$$S_{об} = S_1 = V_1 t_{об} \quad (12)$$

где D_1 и D_2 - дистанции безопасности между обгоняющим и обгоняемым автомобилями в начале и конце обгона, м; L_1 и L_2 - габаритные длины автомобилей 1 и 2, м, S_2 - путь обгоняемого автомобиля, м

Путь обгоняемого автомобиля

$$S_2 = V_2 t_{об} = V_2 S_{об} / V_1 \quad (13)$$

Из формул (11) — (13) получаем
 $S_{об}(1 - V_2/V_1) = D_1 + D_2 + L_1 + L_2$

Следовательно,

$$S_{об} = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2} V_1$$

Время обгона

$$t_{об} = \frac{S_{об}}{V_1} = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2}$$

Таким образом, время и путь обгона в большой степени зависят от скорости обгоняющего автомобиля V_1 . Чем динамичнее автомобиль, тем меньше значения $S_{об}$ и $t_{об}$, следовательно, тем быстрее автомобиль может вернуться на свою полосу движения, обеспечив необходимую безопасность. Многочисленные наблюдения показали, что при свободном движении скорости обгоняющих автомобилей достаточно высоки, но не достигают предельных значений и обычно составляют 80—90% максимальной возможной скорости.

Величины дистанций безопасности D_1 и D_2 в большой степени зависят от дорожных условий, типа автомобиля, опыта и квалификации водителя. Точный их расчет невозможен, поэтому правилами дорожного движения предусматривается, что дистанции между автомобилями выбирает водитель. Для ориентировочных расчетов этих расстояний в литературе имеется много различных предложений. Так, некоторые авторы определяют эти дистанции, исходя из времени, необходимого водителю для оценки обстановки перед обгоном. Это время принимают в интервале 2—5 с. Другие исследователи считают дистанция D_1 и D_2 примерно равными остановочному пути обгоняющего автомобиля. Третьи предлагают уравнения, в которых учитывается разность тормозных путей обгоняющего и обгоняемого автомобилей. Массовые наблюдения, проведенные в различных условиях, показали недостоверность этих предпосылок. В действительности водители при определении дистанции безопасности при обгоне учитывают не только возможность экстренного торможения переднего автомобиля, но и вероятность его в данной дорожной обстановке. Другими словами, опираясь на накопленный опыт и интуицию, водитель выбирает расстояние с учетом всех факторов, характеризующих условия движения. Не удивительно, что фактические величины дистанции могут весьма значительно отличаться от значений, определенных на основании указанных выше умозрительных предпосылок.

При временном интервале между следующими один за другим автомобилями менее 9—10 с на величину дистанции влияет и тип автомобиля (рис. 5, б). Наименьшие дистанции выдерживают при следовании легкового автомобиля за легковым, а максимальные — при движении грузового автомобиля за легковым. Характер зависимости дистанции от скорости одинаков для взаимодействующих автомобилей всех типов.

Согласно имеющимся данным, первая дистанция безопасности может быть представлена в виде функции скорости обгоняющего автомобиля

$$D_1 = a_{об} V_1^2 + 4,0$$

а вторая – в виде функции скорости обгоняемого автомобиля,

$$D_1 = b_{об} V_2^2 + 4,0$$

Значения коэффициентов $a_{об}$ и $b_{об}$

Автомобили	$a_{об}$	$b_{об}$
Легковые	0,33	0,96
Грузовые, средней грузоподъемности	0,53	0,48
Грузовые большой грузоподъемности и автопоезда	0,74	0,67

где $a_{об}$ и $b_{об}$ — эмпирические коэффициенты, зависящие от типа обгоняемого автомобиля (табл 4).

Вторая дистанция безопасности короче первой, так как водитель обгоняющего автомобиля стремится быстрее возвратиться на свою полосу движения и иногда «срезает угол». Кроме того, скорость V_1 обгоняющего автомобиля больше скорости V_2 , поэтому если в момент завершения обгона дистанция между автомобилями и окажется короче допустимой, то она очень быстро увеличится.

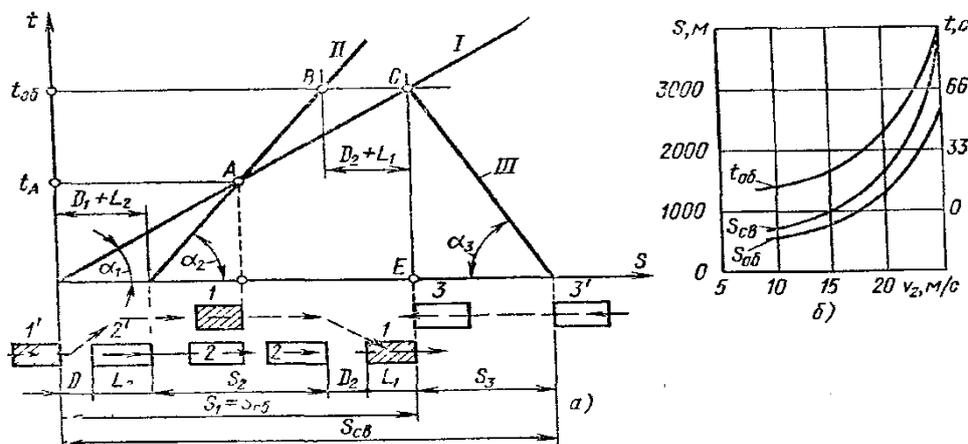


Рис 6 Характеристики обгона при равномерное движении автомобиля:

а — схема и график обгона:

б — изменение $S_{об}$, $t_{об}$ и $S_{св}$ в зависимости от V_2

Для анализа процесса обгона удобно пользоваться схемой, на которой изображены зависимости между временем и перемещениями автомобилей (рис б, а). Положения обгоняющего, обгоняемого и встречного автомобилей в начальный момент времени отмечены в нижней части схемы соответственно цифрами 1', 2' и 3'. Движение всех трех автомобилей считаем равномерным, и соответствующие зависимости $S = S \{t\}$ представляют собой

прямые линии /, // и ///. Котангенсы углов α_1 , α_2 и α_3 наклона этих прямых пропорциональны скоростям V_1 , V_2 и V_3 автомобилей. В начале обгона расстояние между передними частями обгоняющего и обгоняемого автомобилей равно $D_1 + L_2$. Точка А пересечения прямых / и // характеризует момент обгона, в который оба автомобиля поравнялись (воемя t_A), после чего обгоняющий автомобиль начинает выходить вперед. Чтобы определить минимально необходимые время и путь обгона, нужно найти на графике такие две точки В и С на линиях / и //, расстояние между которыми по горизонтали было бы равно сумме $D_2 + L_1$. Тогда абсцисса точки С определит путь обгона, а ордината — время обгона:

Зная $S_{об}$ и v_3 можно определить минимальное расстояние $S_{об}$, которое должно быть свободным перед обгоняющим автомобилем в начале обгона:

$$S_{CB} = S_{об} + S_3 = S_{об} \left(1 + \frac{V_3}{V_1} \right) = \frac{D_1 + D_2 + L_1 + L_2}{V_1 - V_2} (V_1 + V_3)$$

На рис 6, б показаны результаты расчета $S_{об}$, $t_{об}$ и S_{CB} . При расчете принято $V_1 = 30$ м/с, $V_3 = 10$ м/с, $L_1 = L_2 = 5$ м. Путь и время, необходимые для безопасного обгона, резко возрастают при увеличении скорости обгоняемого автомобиля. Так, при $V_2 = 10$ м/с для безопасного обгона при отсутствии встречного автомобиля необходимы расстояние примерно 500 м и время около 17 с. При повышении скорости до 20 м/с $S_{об}$ возрастает до 1260 м, а время до 95 с. Соответственно увеличивается и расстояние S_{CB} . Таким образом, если водитель обгоняемого автомобиля повысит скорость, не желая уступить дорогу, то это резко увеличит время и путь обгона и может привести к аварии. Поэтому правила дорожного движения категорически запрещают водителю обгоняемого автомобиля какими бы то ни было способами препятствовать завершению обгона. Чем выше скорость обгоняющего автомобиля, тем меньше значения $S_{об}$, $t_{об}$ и S_{CB} , необходимые для безопасного обгона. Поэтому наиболее безопасен обгон легковым автомобилем тихоходного транспортного средства, например автопоезда. Напротив, обгоны легковых автомобилей, предпринимаемые иногда торопящимися водителями грузовых автомобилей и даже автопоездов, весьма опасны и нередко заканчиваются трагически.

Обгоны с постоянной скоростью возможны на дорогах с проезжей частью шириной более 7—8 м и интенсивностью движения в обоих направлениях менее 40 — 60 автомобилей в час, т. е с интервалом движения около 1 мин. Значительно сложнее и опаснее обгонять при большей интенсивности движения. Так, если интенсивность превышает 150—160 автомобилей в час, то они движутся сплошным потоком. В этих условиях быстроходный автомобиль, догнав медленно движущийся автомобиль, уменьшает скорость и некоторое время движется позади него с той же скоростью. Водитель заднего автомобиля внимательно следит за потоком и при появлении перед обгоняемым автомобилем достаточного свободного расстояния начинает

обгон, сочетая его с разгоном. Для того чтобы путь и время обгона были минимальными, интенсивность разгона должна быть максимально возможной.

Для расчета пути и времени обгона в этом случае необходимо вначале построить графики интенсивности разгона, характеризующие зависимость между путем и временем движения автомобиля при ускоренном движении. Время разгона можно определить путем интегрирования выражения

$$j = dv/dt.$$

Подставив вместо j его значение согласно формуле (10) и интегрируя в пределах от V_0 до V для скорости и от нуля до t_p для времени разгона, получим

$$t_p = \int_{V_0}^V \frac{D_c dv}{-A_c V^2 + B_c V + C_c} = \frac{D_c}{E_c} * \ln \left| \frac{(-2A_c V + B_c - E_c)(-2A_c V + B_c + E_c)}{(-2A_c V_0 + B_c - E_c)(-2A_c V_0 + B_c + E_c)} \right| \quad (14)$$

$$\text{где } E_c = \sqrt{B_c^2 - 4A_c C_c}$$

Это время, необходимое для увеличения скорости автомобиля от V_0 до V , является минимально возможным, поскольку предполагается, что двигатель автомобиля работает с полной нагрузкой. Определять время разгона автомобиля аналитически, используя формулу (14), целесообразно лишь при наличии ЭВМ с готовой программой. Расчеты вручную по этой формуле достаточно трудоемки, поэтому на практике обычно пользуются более простым графоаналитическим методом. Для этого кривую ускорений разбивают на ряд интервалов, начиная от V_0 (см. рис. 1, б), и считают, что в каждом интервале скоростей автомобиль движется с постоянным ускорением j_{cp} , величину которого определяют по формуле

$$j_{cp} = 0,5 (j_0 + j_1),$$

где j_0 и j_1 — ускорения соответственно в начале и в конце интервала скоростей, m/c^2

При изменении скорости от V_0 до V_1 среднее ускорение

$$j'_{cp} = (V_1 - V_0) / (\Delta t_1) = \Delta V_1 / \Delta t_1$$

Следовательно, время разгона в том же интервале скоростей

$$\Delta t_1 = \Delta V_1 / j'_{cp}$$

Время разгона в интервале скоростей V_1 — V_2

$$\Delta t_2 = \Delta V_2 / j''_{cp}$$

Общее время разгона от минимально устойчивой скорости до конечной

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$$

По значениям t , определенным для различных скоростей, строят кривую времени разгона, начиная ее со скорости V_{min} который $t = 0$. Для скорости

V_1 откладывают значение Δt_1 , для скорости V_2 — значение $(\Delta t_1 + \Delta t_2)$ и т.д. Полученные точки соединяют плавной линией. Для расчета пути разгона формулу для ускорения представим в следующем виде:

$$j = (dV/dt) (dS/dS) = VdV/dS.$$

Подставив вместо ускорения его значение согласно формуле (10) и интегрируя в пределах от V_0 до V для скорости и от 0 до S_p для пути, получаем

$$S_p = -\frac{Dc}{2Ac} \left\{ \ln \left| \frac{-2AcV^2 + BcV + Cc}{-2AcV_0^2 + BcV_0 + Cc} \right| - \frac{Bc}{Ec} \ln \left| \frac{(-2AcV + Bc - Ec)(-2AcV_0 + Bc + Ec)}{(2AcV_0 + Bc + Ec)(-2AcV + Bc + Ec)} \right| \right\}$$

При графоаналитическом расчете минимального пути и разгона принимают условно, что автомобиль в каждом из намеченных интервалов скоростей (см. рис. 4, б) движется с постоянной скоростью $V_{cp} = 0,5(V_1 + V_2)$. Приращение пути в каждом из интервалов скоростей

$$\Delta S = V_{cp} \Delta t = V_{cp} \Delta t / j_{cp}$$

Складывая полученные значения ΔS , строят суммарную кривую S_p , начиная с той же скорости, с которой начинали строить кривую t_p . Определив зависимости $t_p = t(V)$ и $S_p = S(V)$ можно построить график интенсивности разгона, необходимый для расчета пути и времени обгона с ускорением.

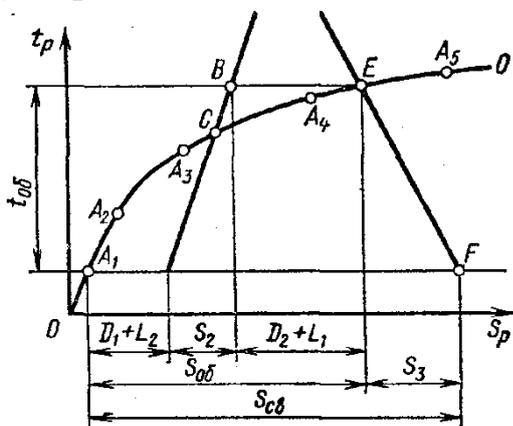


Рис. 7. График обгона при разгоне обгоняющего автомобиля

Для построения этого графика в координатах S_p — t_p (рис. 7) наносят сначала значения времени t_1 и пути S_1 , соответствующие разгону обгоняющего автомобиля от скорости V_0 до скорости V_1 , затем значения $(t_1 + t_2)$ и $(S_1 + S_2)$ для интервала скоростей

$(V_1 - V_2)$ и т. д. После этого полученные точки соединяют плавной кривой OO' . На кривой отмечают точки A_1, A_2, \dots , соответствующие различным значениям V (например, 5, 10 ... м/с).

Для определения времени и пути обгона, сочетаемого с разгоном, на кривой намечают точку, соответствующую скорости V_2 обгоняемого автомобиля (например, A_1), и от нее откладывают вправо по горизонтали отрезок, равный $D_1 + L_2$. Из конца отрезка проводят наклонную прямую,

параллельную касательной к кривой OO в точке A_1 , и изображающую движение обгоняемого автомобиля. Точка C пересечения этой прямой с кривой OO соответствует моменту времени, когда передние части обоих автомобилей находятся на одном уровне. При дальнейшем движении обгоняющий автомобиль начинает выходить вперед. Чтобы определить минимально необходимые путь и время обгона, нужно на диаграмме найти такие две точки B и E , расстояние между которыми по горизонтали было бы равно сумме $D_2 + L_1$. Зная положение начальной и конечной точек обгона, по шкалам S_p и t_p находят путь и время обгона, сочетаемого с разгоном. Если нужно учесть возможность появления встречного автомобиля, то из точки E проводят наклонную прямую под углом, соответствующим скорости этого автомобиля, до пересечения с продолжением горизонтальной прямой, проведенной из начальной точки A_1 (точка F). Минимальное расстояние, которое должно быть свободным перед обгоняющим автомобилем для безопасного обгона, определяется длиной отрезка $Scв = A_1F$.

По описанной методике были рассчитаны время и путь обгона, необходимые автомобилю ВАЗ-2101 «Жигули», движущемуся по горизонтальной дороге с покрытием хорошего качества. Результаты расчетов показали, что при скорости обгоняемого автомобиля 10—12 м/с и при отсутствии встречных автомобилей необходимо свободное расстояние не менее 250—300 м. Если автомобиль будет двигаться по левой стороне дороги, где возможно появление встречных транспортных средств, то безопасное расстояние увеличивается до 450—500 м. Согласно СНиП при движении автомобиля с расчетной скоростью 33,3 м/с расстояние видимости поверхности дороги должно быть не менее 175 м, а расстояние видимости встречного автомобиля не менее 350 м. Эти расстояния нормируют, исходя из расположения глаз водителя на высоте 1,2 м над осью проезжей части дороги и на расстоянии 1,5 м от ее правой кромки

Сравнение этих данных с результатами расчета показывает, что даже на дорогах высших категорий обгон, сочетаемый с разгоном, практически трудно осуществим даже при относительно небольшой скорости обгоняемого автомобиля, так как гарантированные расстояния видимости меньше безопасных путей обгона. На дорогах же низших категорий, имеющих небольшую ширину проезжей части, где выезд автомобилей на левую сторону наиболее вероятен, нормируемые расстояния видимости допускают обгоны лишь весьма тихоходных транспортных средств, движущихся со скоростью 7—8 м/с. При недостаточных расстояниях видимости водители вынуждены сокращать дистанции безопасности в начале и в особенности в конце обгона, что часто приводит к нарушению требований безопасности. Чрезмерное приближение к переднему автомобилю может быть причиной аварии в случае неожиданного его торможения. Уменьшение второй дистанции безопасности и «срезание угла», иногда практикуемое водителями в конце обгона, также опасны, так как при ошибке в расчете происходит столкновение автомобилей.

Расчеты пути и времени обгона, сочетаемого с разгоном, существенно упрощаются, если принять, что обгоняющий автомобиль движется с постоянным ускорением. Ускорение обычно принимают примерно равным 0,7—0,8 от максимально возможного в данных дорожных условиях. При равноускоренном движении обгоняющего автомобиля с начальной скорости, равной V_2 ,

$$S_{об} = S_1 = V_2 t_{об} + j t_{об}^2 / 2 \quad (15)$$

Кроме того, согласно формуле (11) при отсутствии встречного автомобиля

$$S_{об} = D_1 + D_2 + L_1 + L_2 + V_2 t_{об}. \quad (16)$$

Следовательно, время обгона

$$t_{об} = \sqrt{2(D_1 + D_2 + L_1 + L_2) / j}$$

Зная $t_{об}$, по формуле (15) или (16) находят путь обгона. В случае обгона, сочетаемого с разгоном, большое значение имеет приемистость автомобиля. Чем больше максимальное ускорение автомобиля, тем быстрее будет закончен обгон. Так, если принять $D_1 = D_2 = 30$ м и $L_1 = L_2 = 5$ м, то при

$t = 0,2$ м/с² для обгона автомобиля, движущегося со скоростью 10 м/с, необходимы время не менее 27 с и расстояние около 335 м. При увеличении ускорения до 0,4 м/с² время обгона уменьшается до 19 с, а путь обгона — до 260 м.

5. ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ТЯГОВУЮ ДИНАМИЧНОСТЬ

Техническим состоянием автомобиля называют степень его готовности к работе, т.е. степень соответствия его агрегатов, механизмов и приборов нормам, установленным правилами технической эксплуатации. В первое время после выпуска автомобиля с завода детали двигателя и других агрегатов прирабатываются, техническое состояние их улучшается. Затем длительное время оно остается примерно неизменным, после чего, вследствие изнашивания, изменения их размеров, образования чрезмерных зазоров, а также возникновения усталостных напряжений, техническое состояние автомобиля начинает ухудшаться, что свидетельствует о необходимости его капитального ремонта. Замена негодных частей и узлов исправными, регулировка механизмов во время ремонта улучшают их техническое состояние, однако, как правило, уровень его оказывается ниже, чем у нового автомобиля.

Ухудшение технического состояния двигателя прежде всего сказывается на уменьшении его мощности. Уменьшение компрессии из-за изнашивания поршневых колец, поршней и цилиндров или неплотного прилегания клапанов к седлам, наличие нагара на стенках камеры сгорания или смолистых отложений на стенках впускного трубопровода, неправильная установка зажигания (карбюраторные двигатели) или момента начала впрыска топлива (дизели) приводят к уменьшению эффективной мощности двигателя.

При длительном хранении бензина на складах в нем образуются высокомолекулярные соединения, которые, соприкасаясь с горячими стенками впускного трубопровода, оседают

на них в виде твердого слоя. Отложения уменьшают проходное сечение трубопровода и выбивают неравномерное распределение горючей смеси по цилиндрам. В результате мощность двигателя может уменьшиться на 15—20%. Изнашивание деталей цилиндропоршневой группы вызывает прорыв рабочей смеси в картер двигателя при такте сжатия и уменьшение давления конца сжатия. У сильно изношенного двигателя эффективная мощность может составить 80—85% номинальной. В случае установки позднего зажигания мощность может упасть на 25—30%. Слишком раннее зажигание приводит к возникновению детонации, вынуждающей водителя уменьшать скорость и переходить на низшие передачи. При засорении воздушного фильтра ухудшается наполнение цилиндров, нарушается нормальное смесеобразование, что также вызывает падение мощности. Выход из строя свечи зажигания может уменьшить мощность шестицилиндрового двигателя на 15—20%.

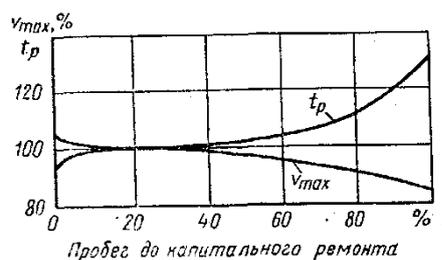


Рис. 8 Изменение показателей тяговой динамичности автомобиля в процессе его работы

В процессе эксплуатации изменяется также техническое состояние агрегатов шасси автомобиля. При неправильном зацеплении шестерен в коробке передач и ведущих мостах, а также при чрезмерной затяжке конических роликоподшипников главной передачи и ступиц колес возрастают затраты энергии в трансмиссии и ходовой части, приводящие к ухудшению тяговой динамичности автомобиля. Такие же последствия вызывает неправильная установка передних колес или задевание тормозных колодок за барабаны при движении автомобиля.

Большое значение для тяговой динамичности автомобиля имеет техническое состояние его шин. Недостаточное давление в них повышает сопротивление качению и снижает поперечную устойчивость автомобиля. При изнашивании протектора ухудшаются сцепные свойства, увеличивается склонность к пробуксовке колес при трогании с места и разгоне.

Снижение показателей тяговой динамичности автомобиля по мере увеличения срока его работы и ухудшения технического состояния проявляется в уменьшении максимальной скорости и ускорения, а также в снижении интенсивности разгона. Примерное изменение V_{MAX} и времени разгона от пробега автомобиля показано на рис. 8. При пробеге автомобиля, равном норме пробега до капитального ремонта (100%), максимальная скорость уменьшается на 10—15%, а время разгона с места увеличивается на 25—30% по сравнению с аналогичными показателями нового автомобиля, прошедшего обкатку.

Ухудшение тяговой динамичности изношенного автомобиля отрицательно сказывается на его безопасности. Такие автомобили медленно разгоняются, с трудом преодолевают крутые подъемы, для обгона попутных транспортных средств им нужно на 30—35% больше времени, чем таким же

автомобилям в исправном техническом состоянии. Соответственно снижается и активная безопасность автомобиля.

6. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВОЙ ДИНАМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Совершенствование конструкции автомобиля с целью улучшения его тяговой динамичности и возможно по нескольким направлениям.

Во многих странах ведется работы по уменьшению массы автомобиля путем более полного использования свойств металлов (создание равнопрочных конструкций) и применения легких сплавов и пластмасс. Блоки двигателей, картеров коробок передач, сцепления и раздаточных коробок изготавливают из алюминиевых и магниевых сплавов. Успехи химической промышленности позволили внедрить в автомобилестроение многие виды пластмасс, которые имеют меньшую плотность по сравнению с металлами, более пластичны, что важно при изготовлении деталей сложной формы, и обладают высокой антикоррозионной стойкостью.

Развитие и совершенствование автомобильных двигателей происходит в направлении повышения литровой мощности, уменьшения габаритных размеров и массы, увеличения долговечности и снижения расхода топлива.

Тяговую динамичность автомобиля можно улучшить, повышая качество обработки деталей трансмиссии и подбирая надлежащие сорта масел, что приводит к увеличению ее КПД. Для улучшения обтекаемости автомобилей выступающие части делают минимальных размеров. У грузовых автомобилей применяют специальные щитки (обтекатели), уменьшающие завихрение воздуха и силу R_v .

Тяговая динамичность автомобиля может быть значительно улучшена путем применения бесступенчатой трансмиссии (гидро- или электромеханической). Бесступенчатая трансмиссия обеспечивает легкое управление автомобилем, плавный разгон, уменьшает динамические нагрузки и вибрации. У автомобиля с бесступенчатой передачей водитель воздействует только на две педали (управления дроссельной заслонкой и тормозную), так как педаль сцепления отсутствует. Это способствует повышению безопасности движения. Однако существующие бесступенчатые трансмиссии конструктивно сложнее механических коробок передач, имеют большую массу и отличаются высокой стоимостью. КПД этих трансмиссий невысок, что влечет за собой увеличение расхода топлива.

На легковых автомобилях малого литража, где применение бесступенчатых передач затруднено вследствие их больших размеров и массы, улучшения тяговой динамичности добиваются увеличением числа передач в коробке передач и полной их синхронизацией. При этом сводится до минимума время переключения передач и улучшается режим работы

двигателя. Иногда устанавливают также электромагнитные сцепления, облегчающие работу водителя.