

Слайды к лекциям по курсу

**ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ  
ВОЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН**

Лекция 7

# Тягово-скоростные свойства КМ

Определяют способность КМ к совершению полезной транспортной работы.

Главным показателем является максимально возможная средняя скорость движения на заданном маршруте, которая зависит от ее возможности разгоняться, двигаться с большой скоростью, преодолевать подъемы и повышенные дорожные сопротивления, двигаться по инерции и т. д.

Оценку проводят в количественном или безразмерном виде.

# Тягово-скоростные свойства КМ

При количественном вводят понятие свободной окружной силы, не зависящей от скорости движения:

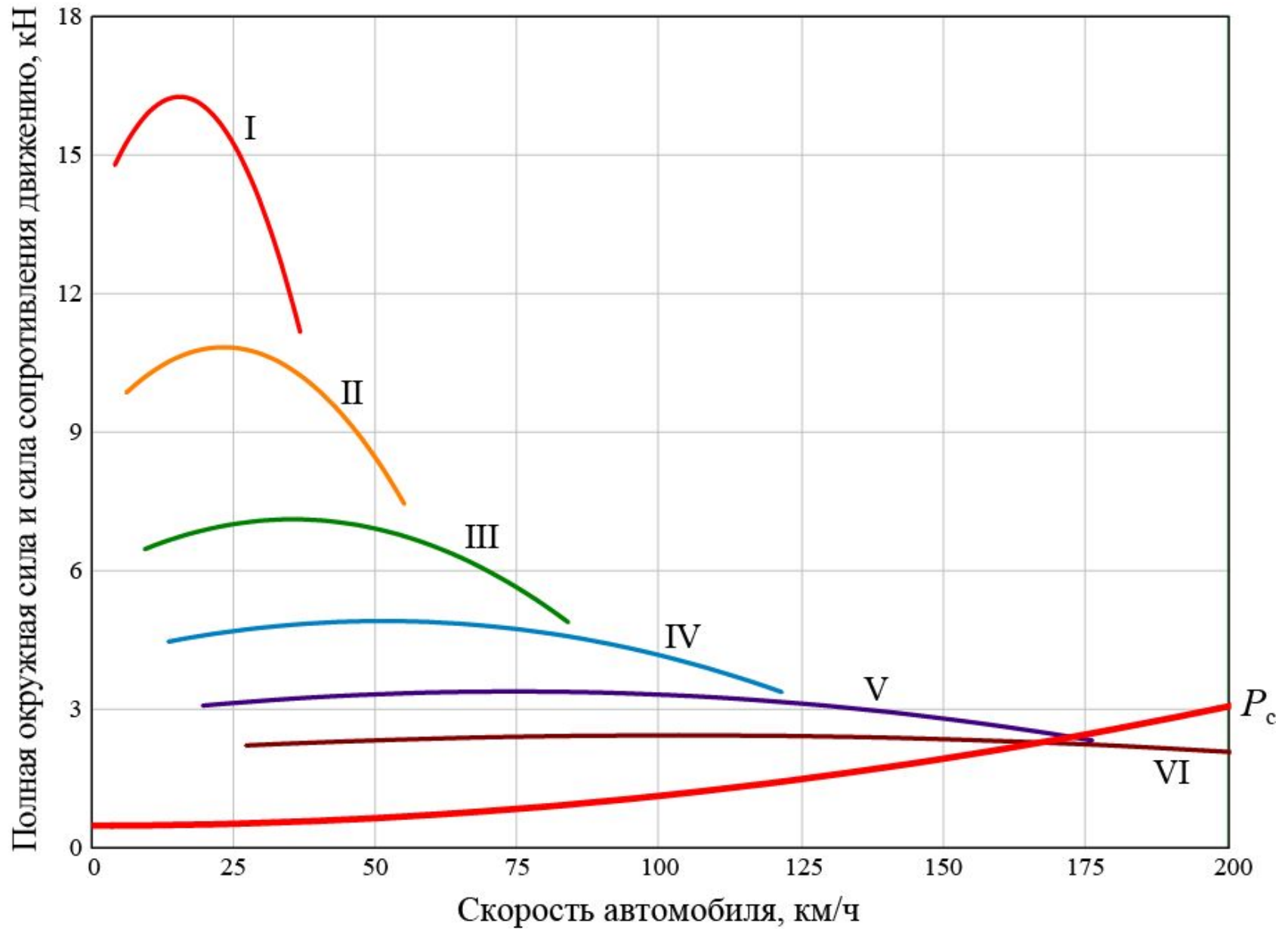
$$P_{\text{св}} = P_{\text{км}} - P_{\text{w}} = P_{f_{\text{шм}}} + P_{\text{мх}} + P_{\text{пцх}} + P_{f_{\text{п}}} + P_{\text{ин}}$$

Можно построить зависимости

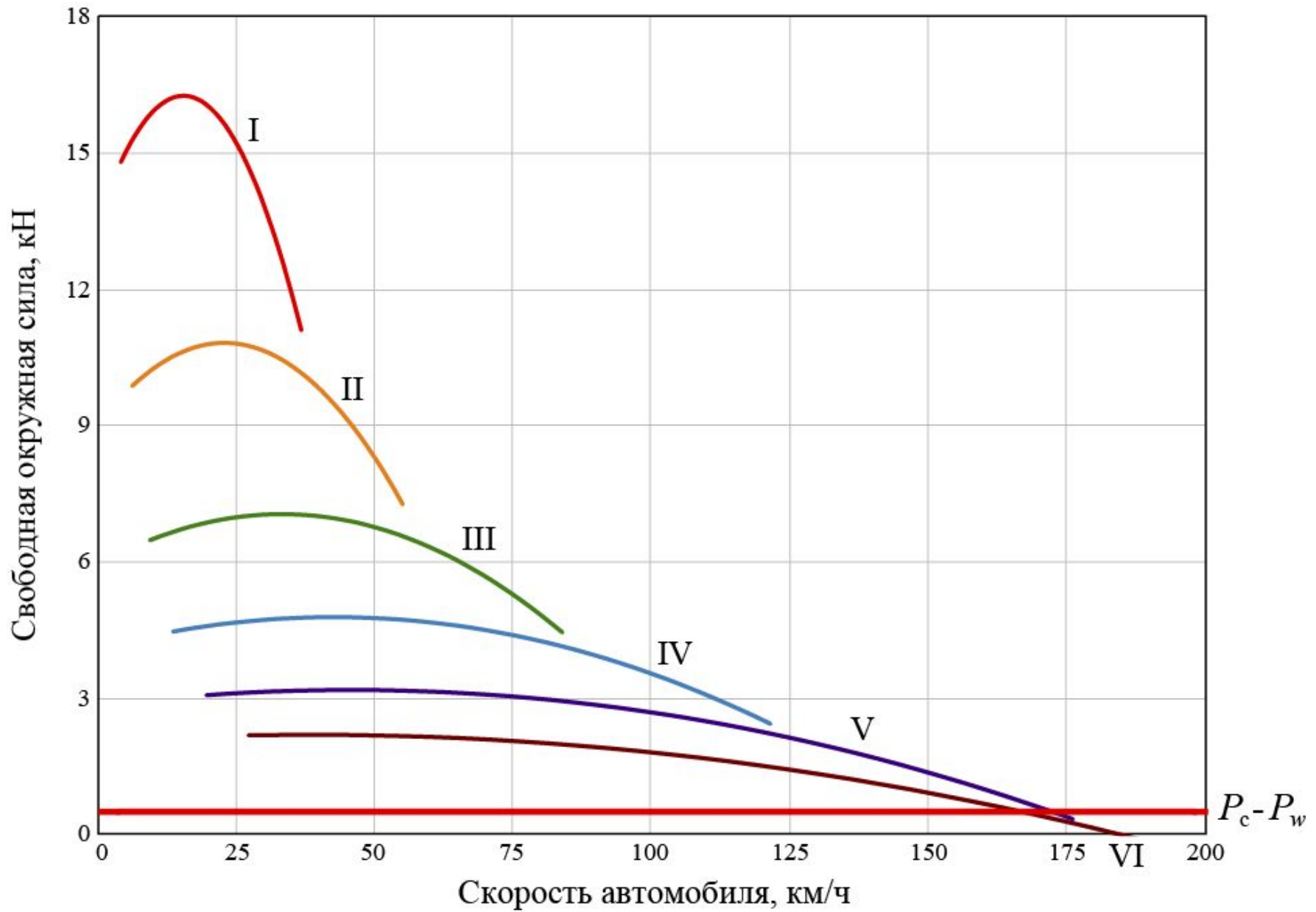
$$P_{\text{км}} = f(v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}}) \quad \text{и} \quad P_{\text{св}} = f(v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}})$$

Такие зависимости удобны для анализа конкретного автомобиля.

# Тяговый баланс КМ



# Тяговый баланс КМ



# Тягово-скоростные свойства КМ

Для сравнения разных автомобилей пользуются безразмерными характеристиками.

Вводится понятие *динамического фактора*:

$$D_{\phi} = \frac{P_{\text{св}}}{m_{\text{м}} g} = \frac{P_{\text{км}} - P_{\text{w}}}{m_{\text{м}} g} = \frac{P_{\text{км}} - P_{\text{w}}}{P_{\text{м}}}$$

и безразмерной характеристики

$$D_{\phi} = f(m_{\text{м}}, v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}})$$

## Тягово-скоростные свойства КМ

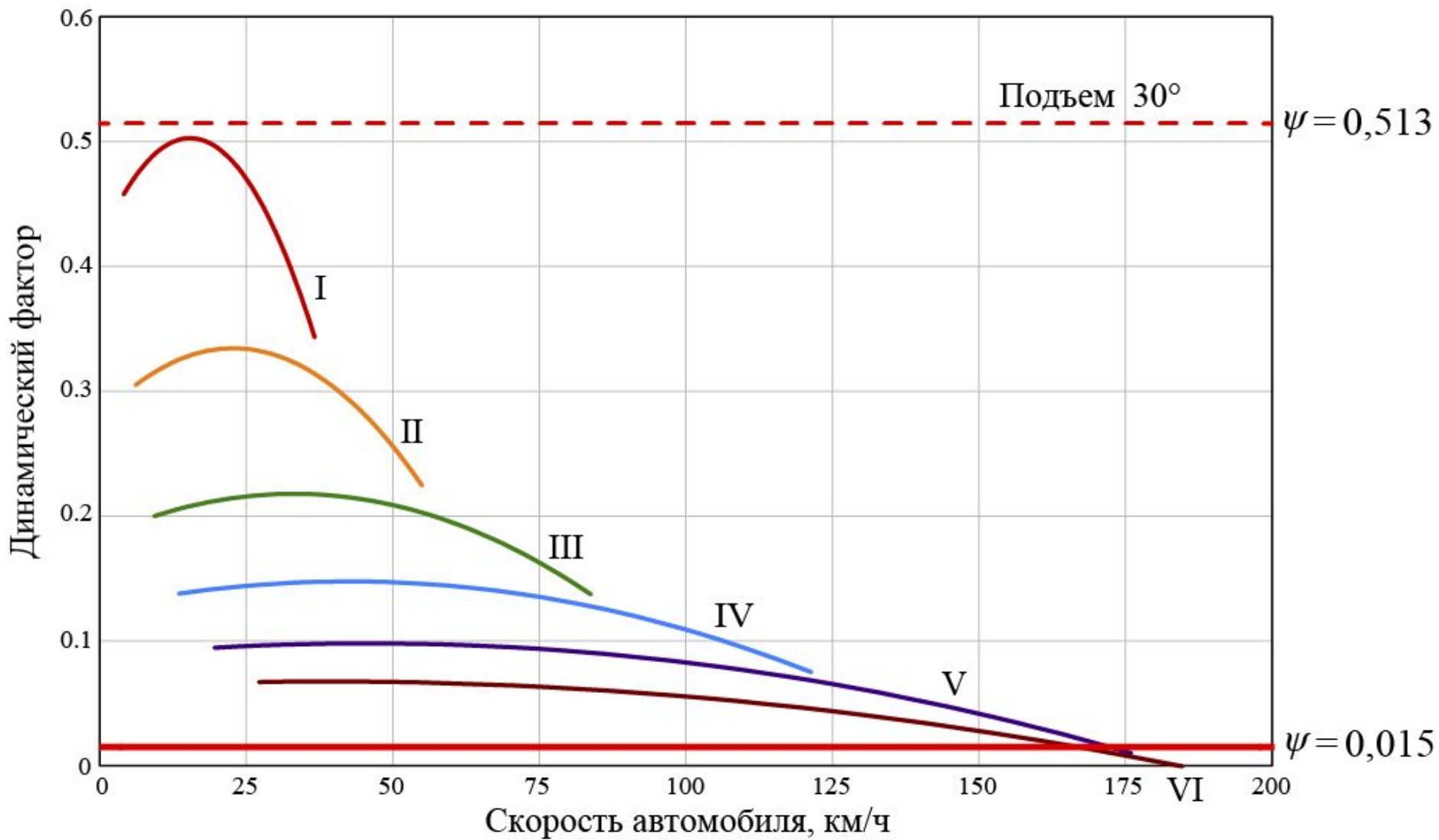
При отсутствии прицепной нагрузки ( $P_{\text{пц } x}$ ) и потерь в подвеске ( $P_{f \text{ п}}$ ) можно получить уравнение баланса сил в безразмерном виде:

$$D_{\phi} = \psi + \frac{a_{\text{мх}} \delta_{\text{вр}}}{g}$$

где  $\psi$  – коэффициент сопротивления движению КМ

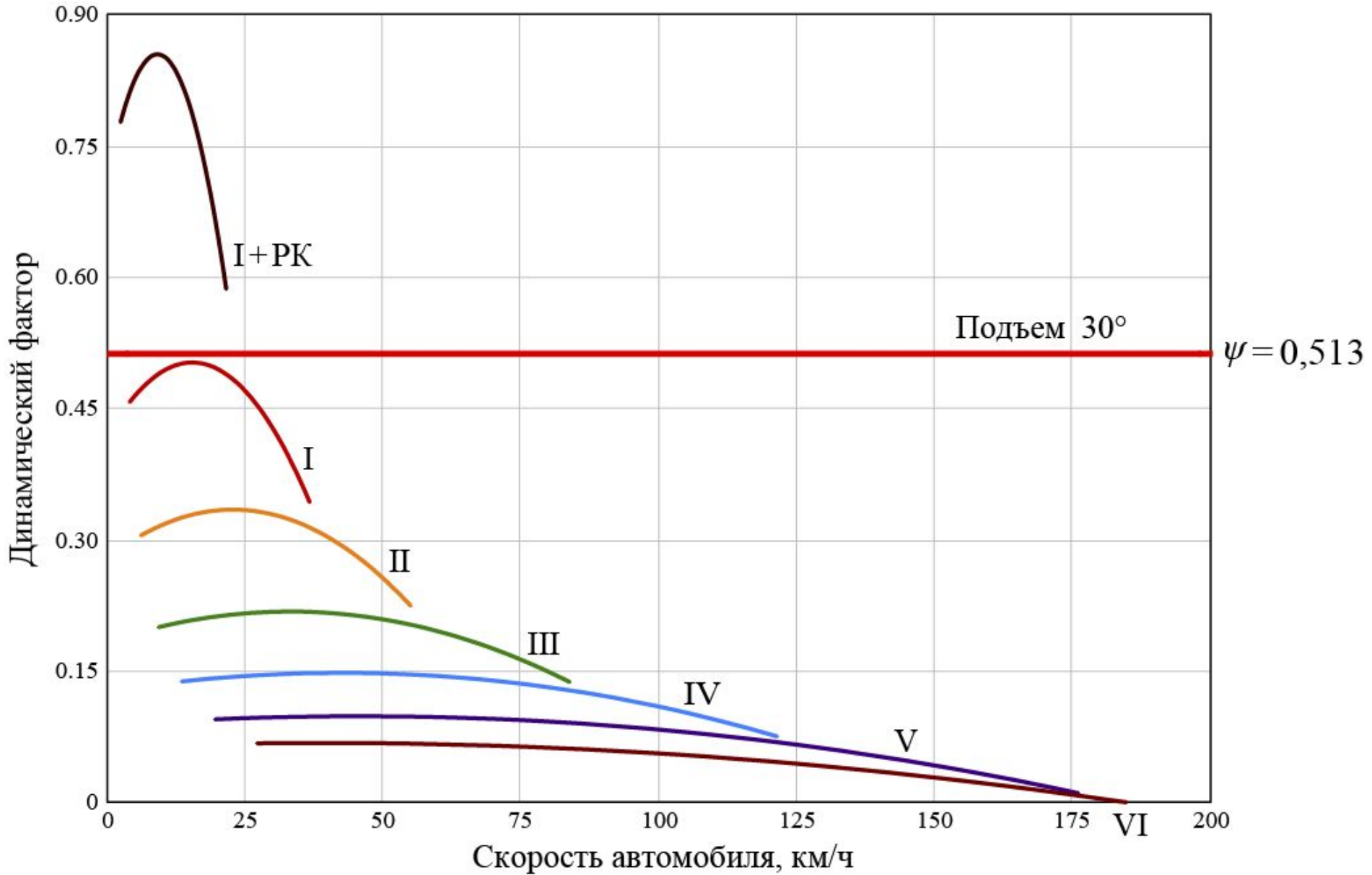
$$\psi = f_{\text{и}} \cos \alpha_{\text{опх}} + \sin \alpha_{\text{опх}}$$

# Динамическая характеристика КМ



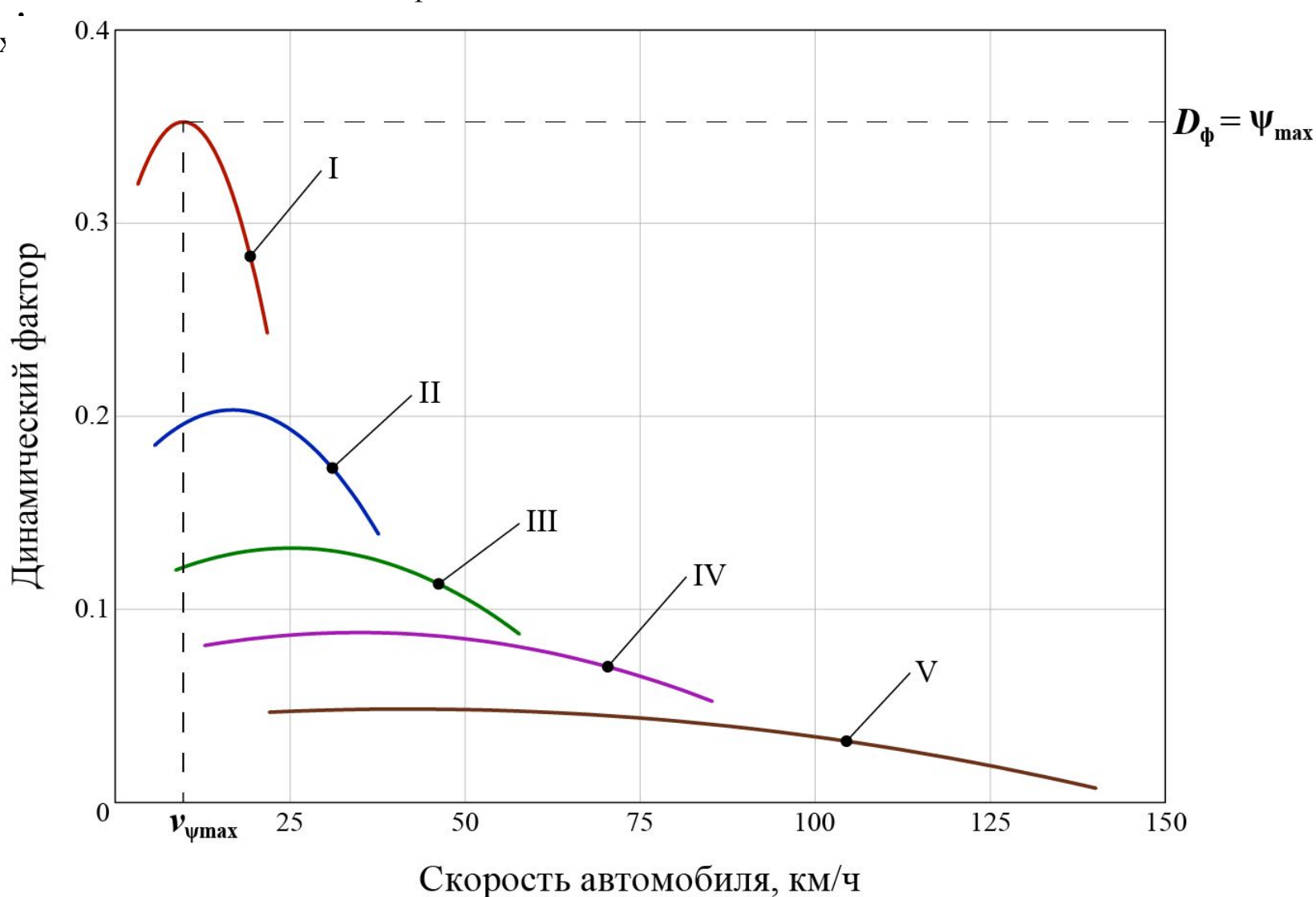


# Динамическая характеристика КМ

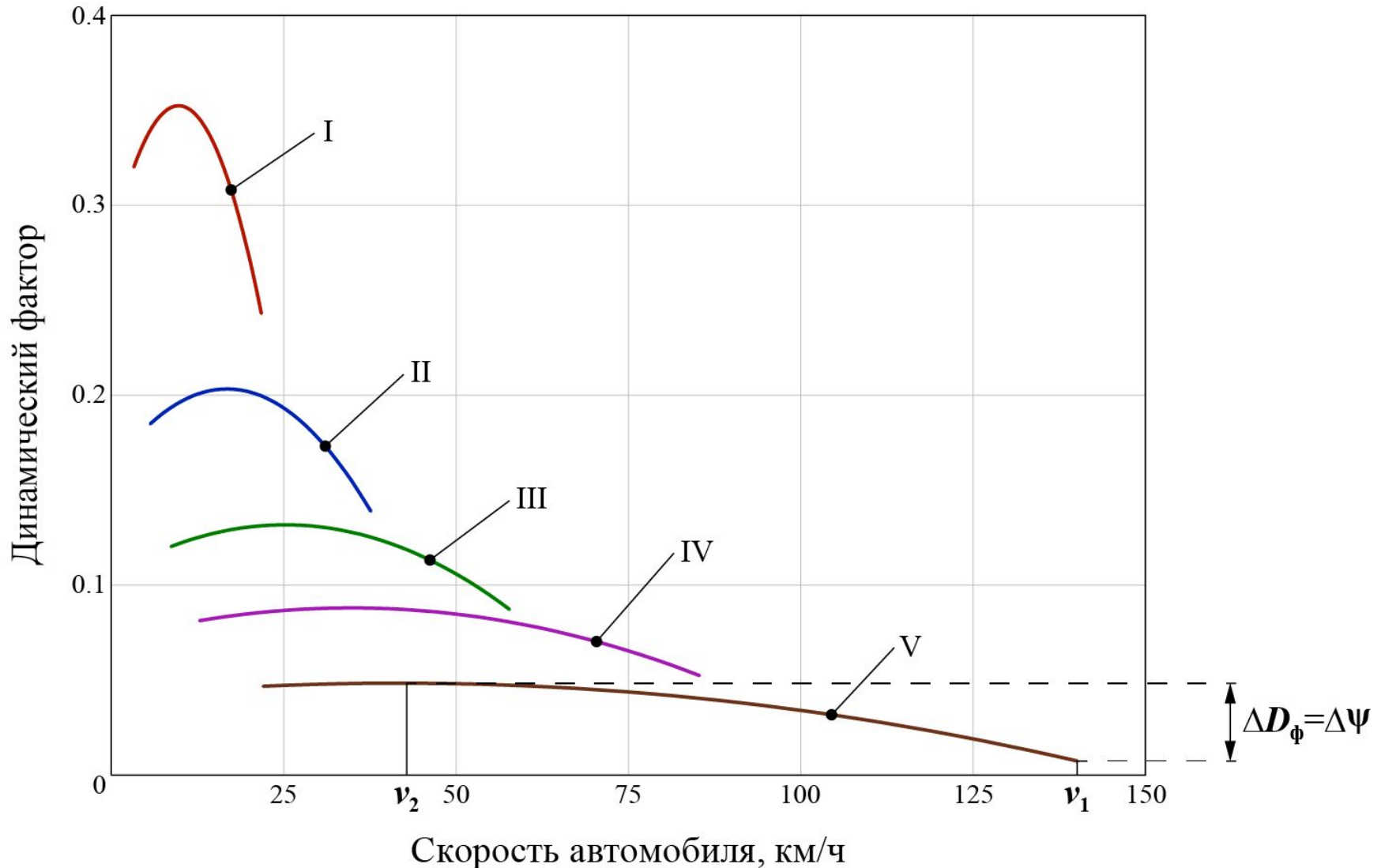


По динамической характеристике КМ можно определить:

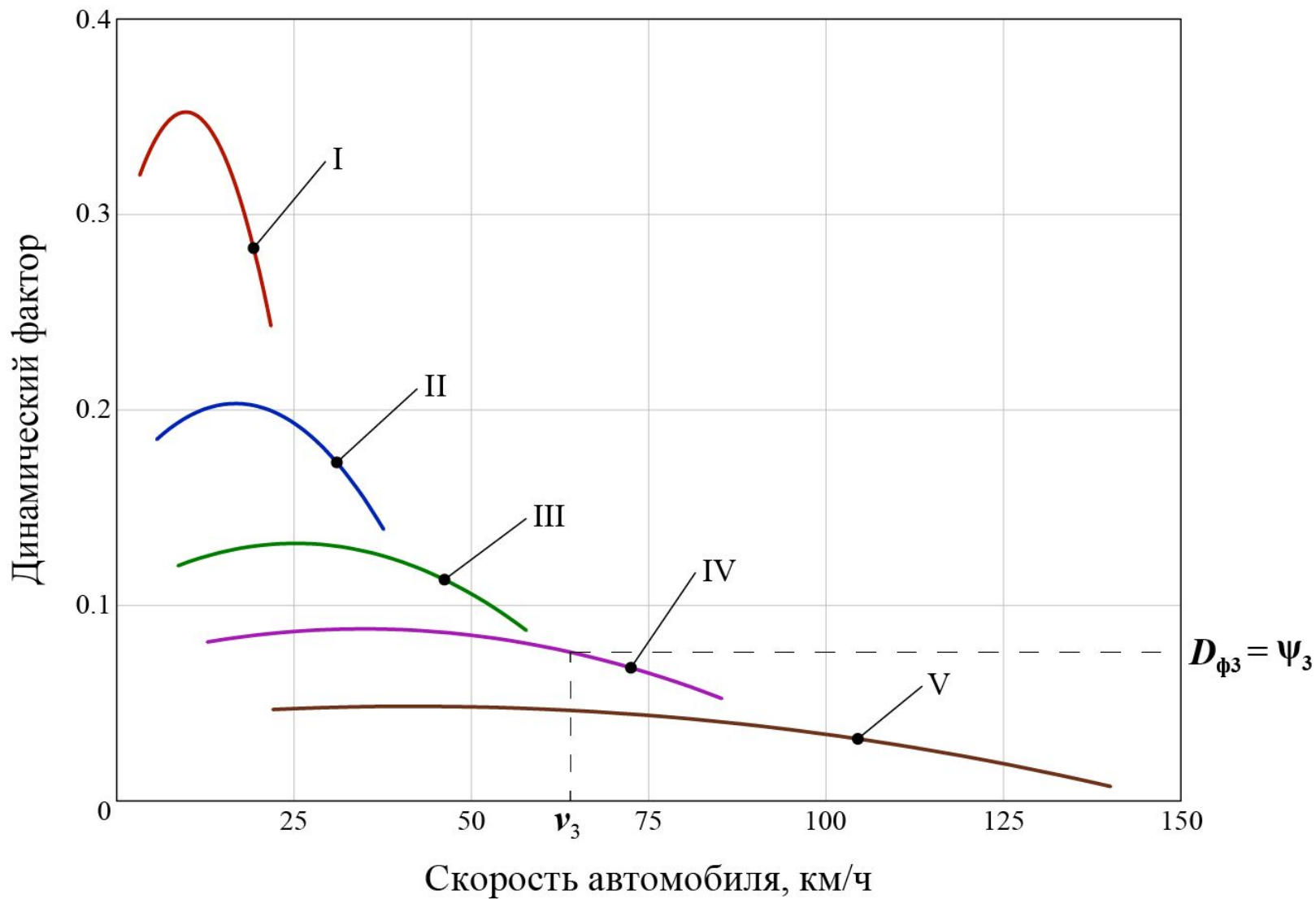
1) максимальный коэффициент сопротивления движению (тяговую возможность)  $\psi_{\max} = D_{\phi}$  и соответствующую ему скорость движения  $V_{\psi_{\max}}$ .



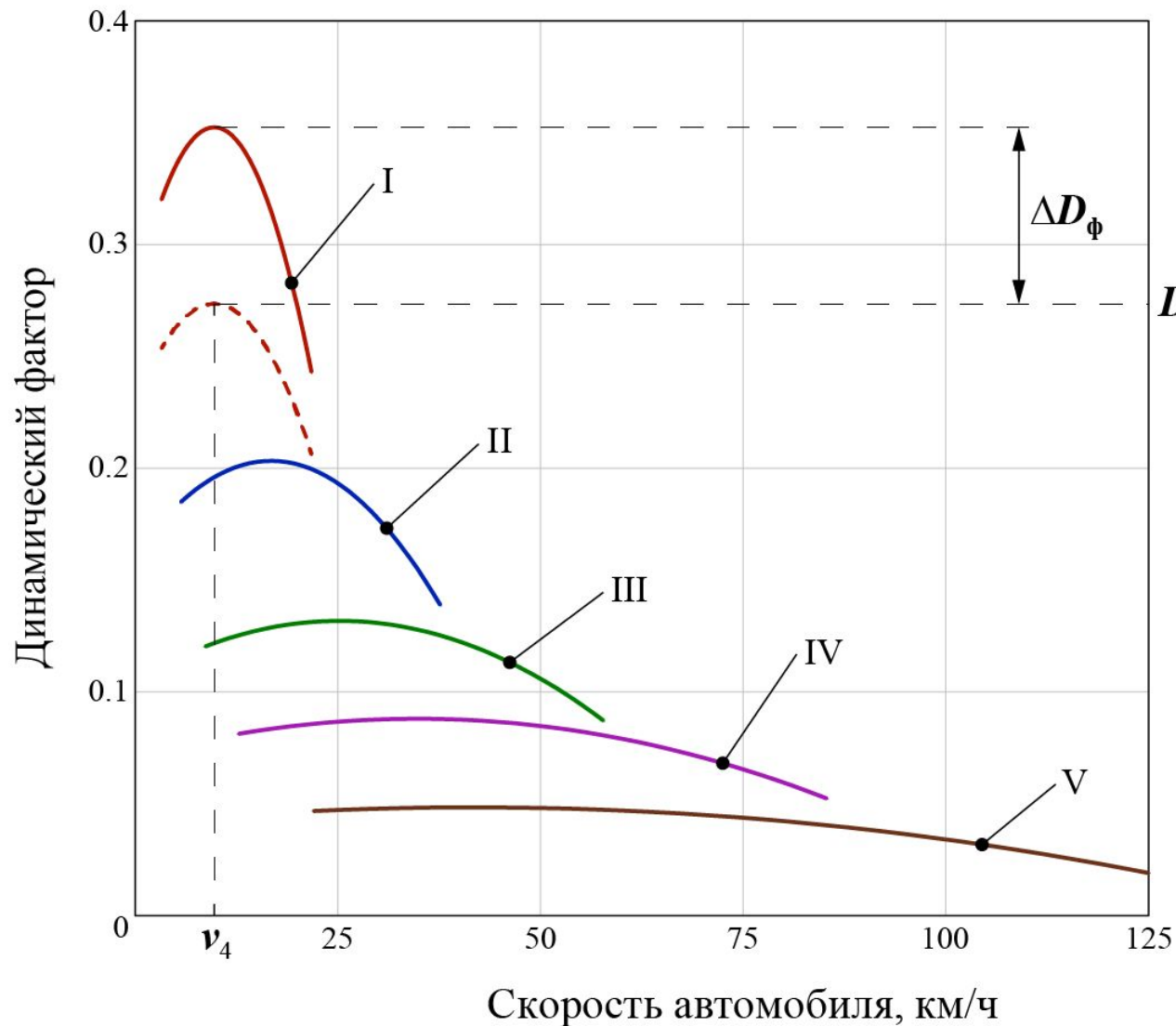
2) диапазон изменения коэффициента сопротивления движению  $\Delta\psi = \Delta D_\phi$  при движении на высшей (V) передаче с начальной максимальной скоростью  $V_1$  без перехода на низшую передачу (IV), а также скорость движения при возросшем сопротивлении;



3) определить максимальное значение скорости  $V_3$  движения при полной подаче топлива и заданным сопротивлением движению  $\psi_3 = D_{\phi 3}$ ;



4) наибольшее ускорение при разгоне с начальной скоростью  $V_4$ , коэффициентом сопротивления движению  $\psi_4 = D_{\phi 4}$  и работе двигателя на частичной характеристике (пунктирная линия);



$$a_{\text{мх}} = \frac{\Delta D_{\phi} \cdot g}{\delta_{\text{вр}}}$$

# Динамическая характеристика КМ

Динамический фактор характеризует исключительно КМ: ее силовую установку, трансмиссию, колесный движитель и параметры, определяющие силу сопротивления воздуха (обтекаемость, площадь поперечного сечения и т.д.).

Данная характеристика определяет только свойства КМ, закладываемые при проектировании. Возможная реализация этих свойств ограничивается сцеплением движителя с ОП, т. е. динамический фактор не всегда может быть реализован: максимальное тяговое усилие определяется суммой продольных реакций по всем колесам ( $\sum R_{xi}$ ).

# Мощностная характеристика КМ

Иногда для решения определенных задач удобно использовать мощностную характеристику  $N_{\text{км}}(m_{\text{м}}, v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}})$ , отображающую изменение поступающей к колесам мощности при различных передаточных числах в трансмиссии  $u_{\text{тр}}$  от скорости движения КМ.

Изменение мощности на каждой передаче в трансмиссии:

$$N_{\text{км}} = N_{\text{дв-тр}} \cdot \eta_{\text{тр}i} = N_{\text{дв}} \cdot k_{\text{сн}N} \cdot \eta_{\text{тр}i}$$

С помощью мощностной диаграммы можно проводить анализ, аналогичный рассмотренному при оценке динамического фактора, но уже не в безразмерном, а в абсолютном виде с учетом потерь мощности на буксование  $N_{\text{с}}$ .

# Мощностная характеристика КМ

Мощность внешних сопротивлений

$$N_c = N_{f_{\text{шм}}} + N_w + N_{\text{мх}} + N_{\text{пц х}} + N_{f_{\text{п}}} + N_{\text{ин}} + N_S$$

$N_{f_{\text{шм}}}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению

$N_w$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха

$N_{\text{мх}}$  – мощность, затрачиваемая на сопротивления движению КМ при преодолении подъема

$N_{\text{пц х}}$  – мощность, затрачиваемая на тягу прицепа

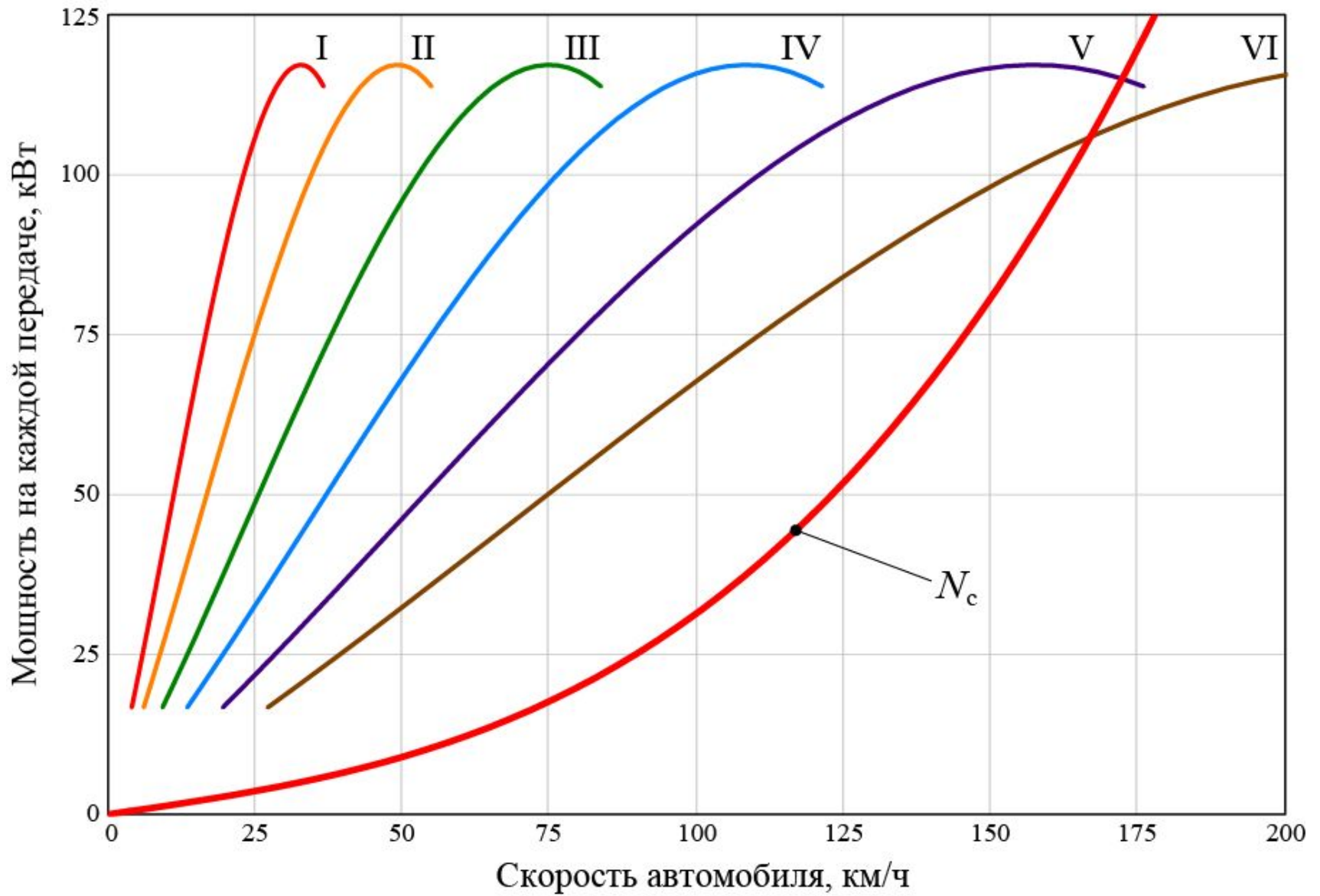
$N_{f_{\text{п}}}$  – мощностные потери в результате колебаний подвески КМ

$N_{\text{ин}}$  – мощность, затрачиваемая на разгон КМ

$N$  – мощность, затрачиваемая на буксирование



# Мощностная характеристика КМ



# Мощностная характеристика КМ

При анализе характеристик КМ иногда используют коэффициент использования мощности двигателя  $k_{иN}$

$$k_{иN} = \frac{N_c}{N_{кМ}}$$

$N_c$  – мощность, необходимая для движения по ОП с заданным коэффициентом  $\psi$ , скоростью и ускорением, но с учетом того, что двигатель работает на частичной характеристике.

$N_{кМ}$  – мощность, которую может развивать двигатель при полной подаче топлива и соответствующей скорости движения.

# Характеристики разгона КМ

Важнейшими характеристиками оценки возможностей разгона КМ являются время разгона, путь, пройденный при этом, ускорение в заданном интервале скоростей.

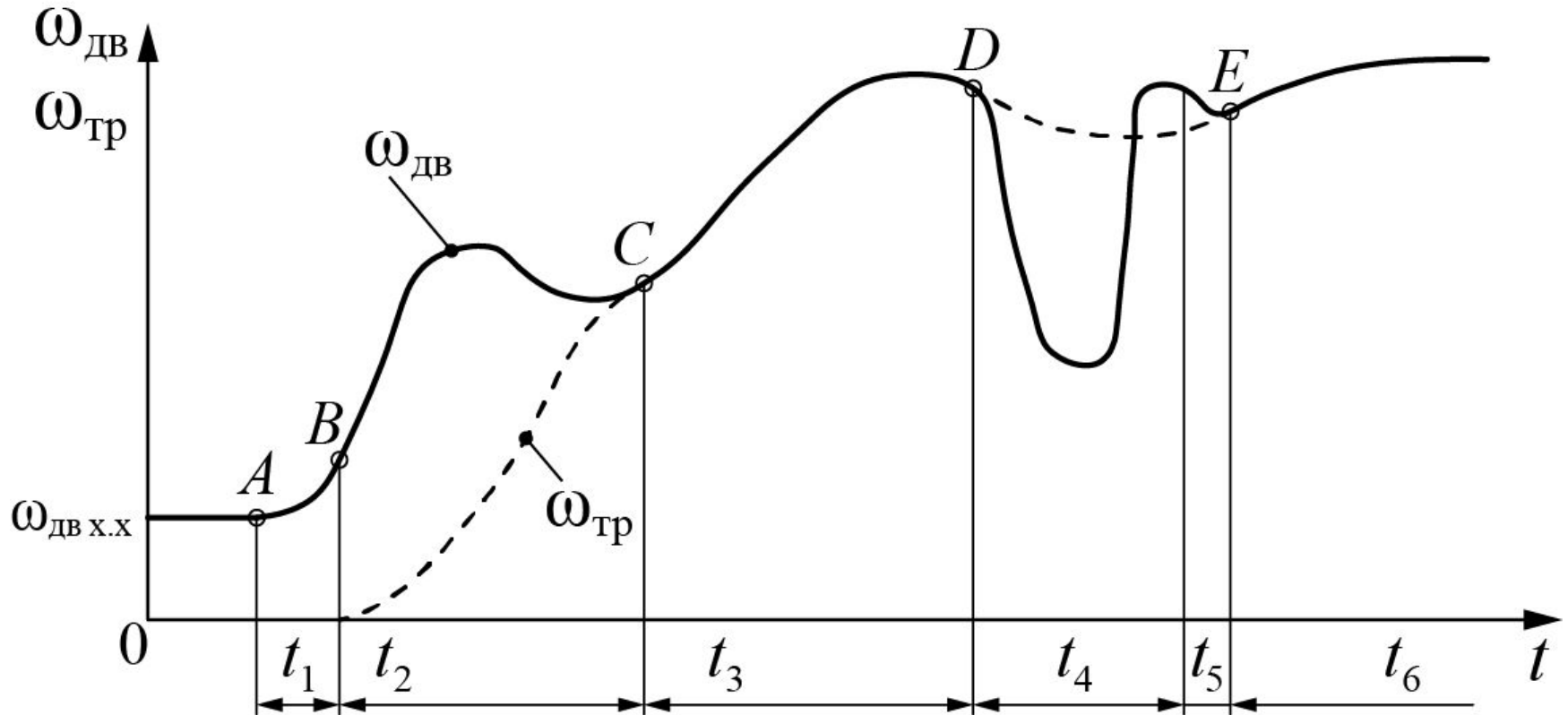
Приемистость – способность КМ быстро увеличивать скорость движения.

Поскольку современные двигатели не могут работать с угловой скоростью, меньшей минимально устойчивой, для начала движения КМ необходимо обеспечить выравнивание угловых скоростей вала двигателя и входного вала механической части трансмиссии.

Этот процесс осуществляют муфты — устройства, обеспечивающие плавное выравнивание угловых скоростей входного и выходного валов.

# Характеристики разгона КМ

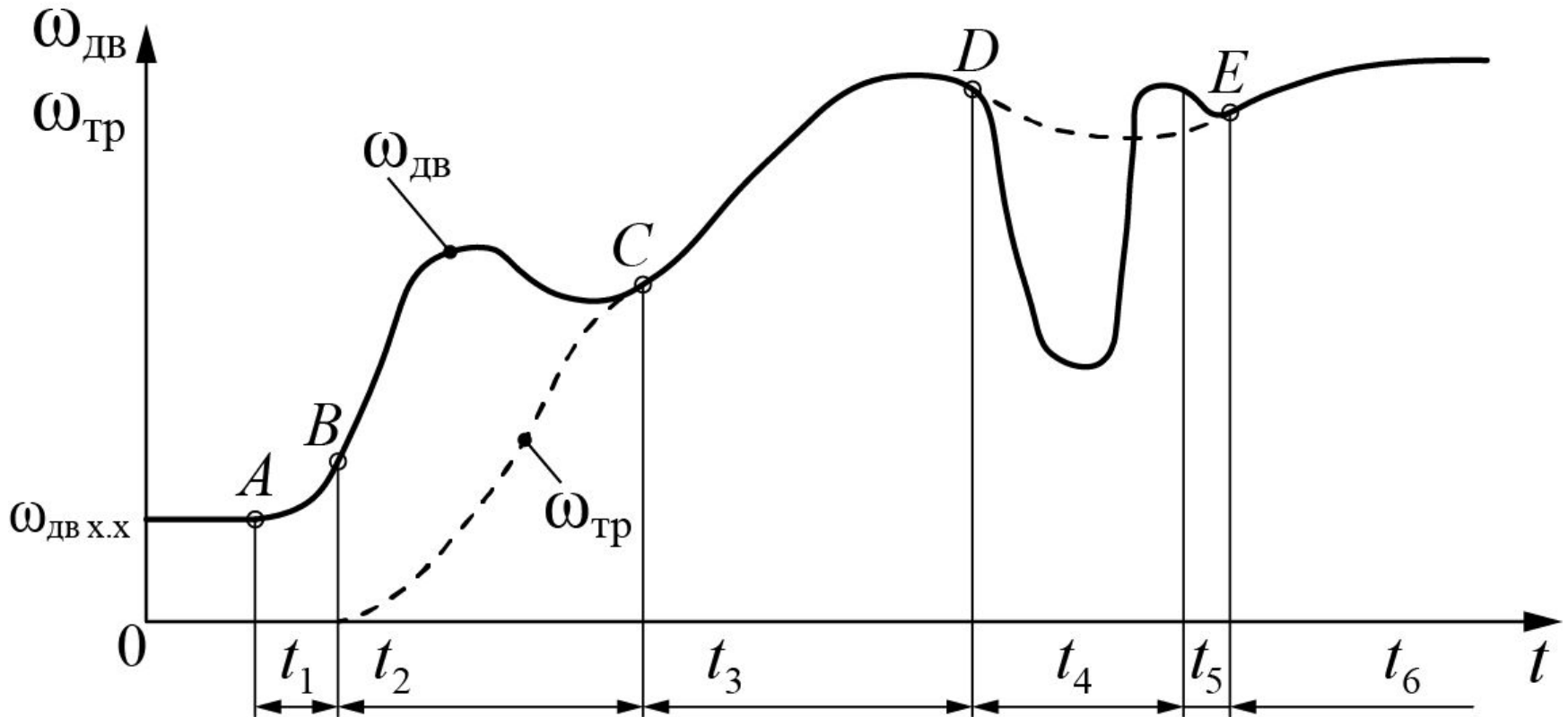
Изменение угловых скоростей вала двигателя и входного вала трансмиссии при трогании и разгоне КМ.



В начальной фазе разгона двигатель работает на холостом ходу с минимальной устойчивой скоростью  $\omega_{\text{дв х.х}}$ , далее увеличивается подача топлива, включается муфта и начинается ее буксование

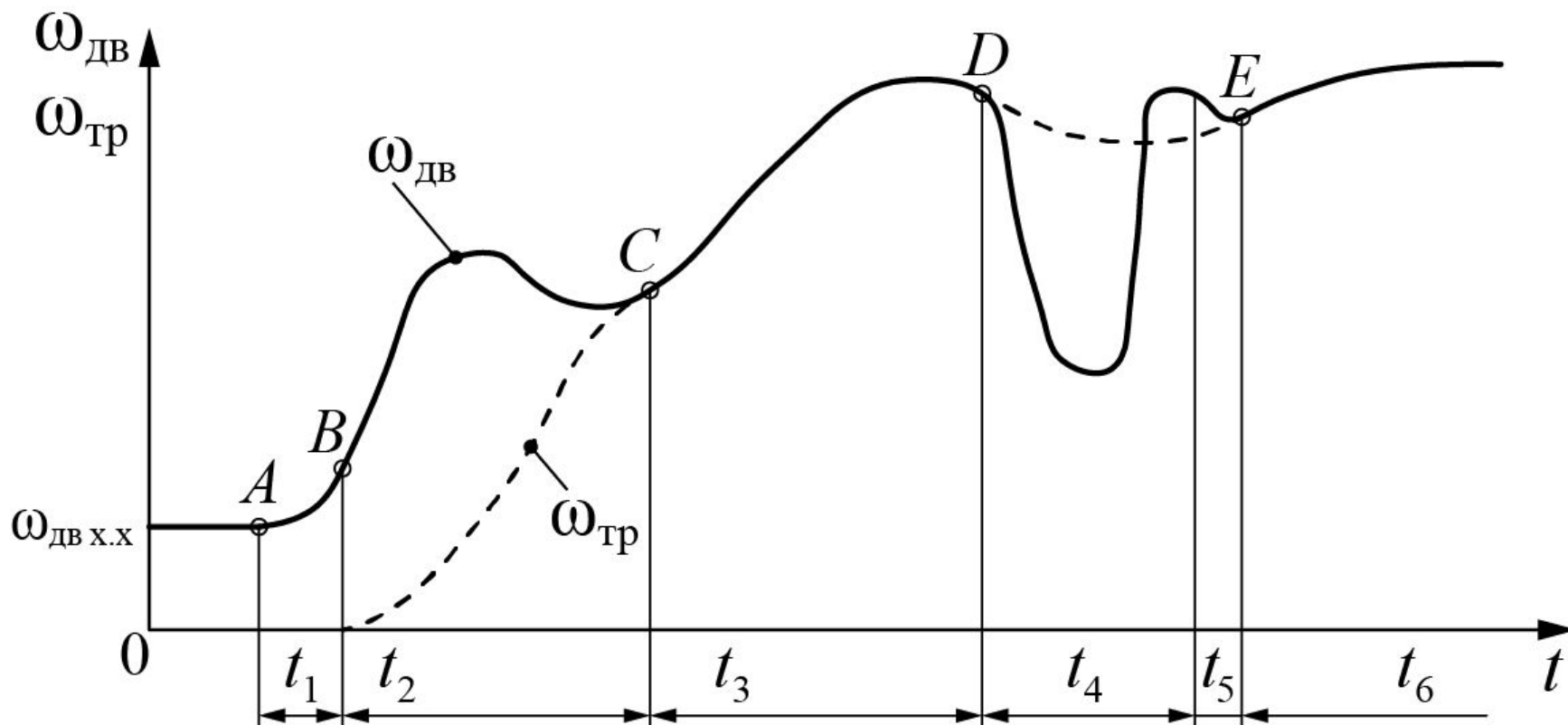
# Характеристики разгона КМ

При увеличении подача топлива и включении муфты начинается процесс ее буксования



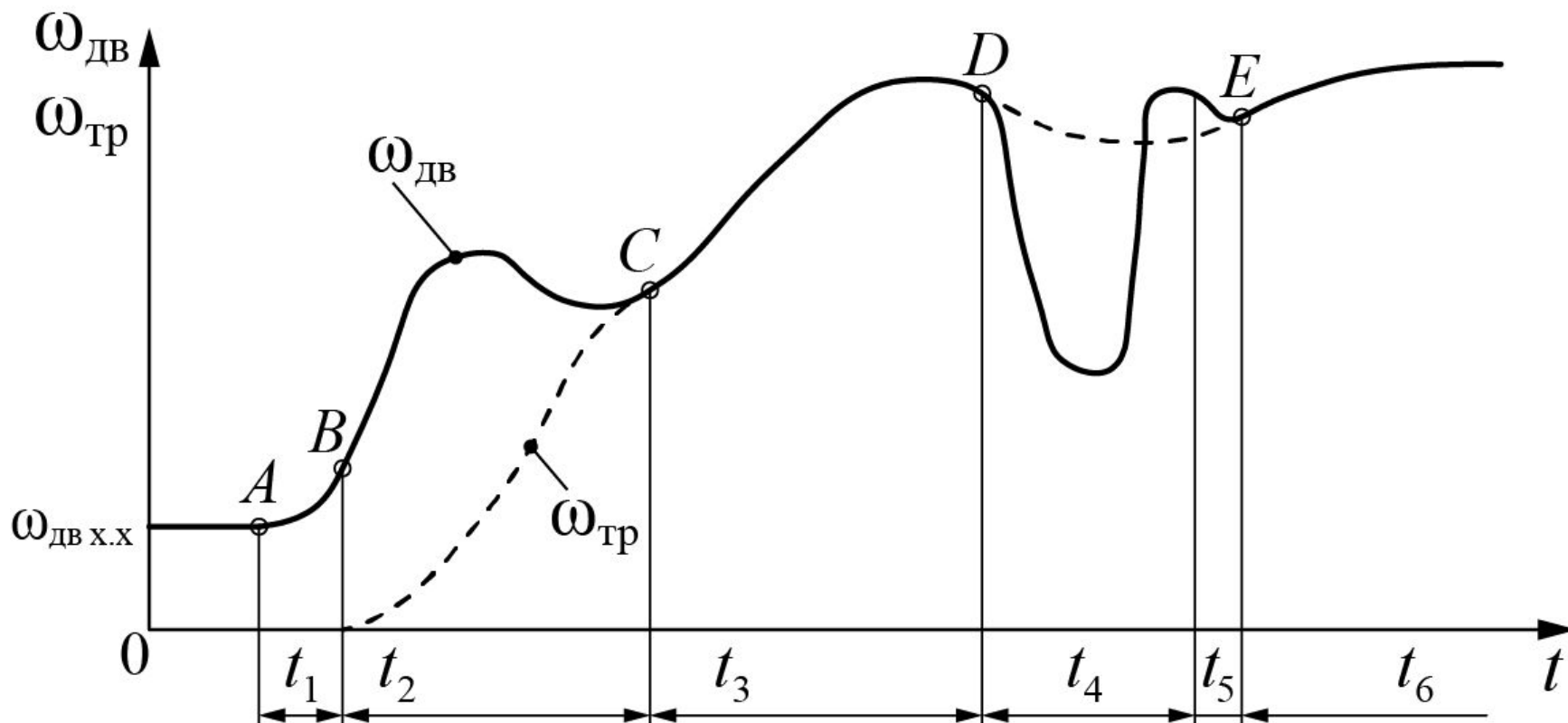
Точка  $A$  – начало возрастания угловой скорости двигателя и момента трения в муфте.

# Характеристики разгона КМ



Точка  $B$  — момент трения становится равным моменту сопротивления движению, приведенному к входному валу трансмиссии, начинается процесс разгона КМ, сопровождающийся увеличением  $\omega_{тр}$  и дальнейшим буксованием муфты.

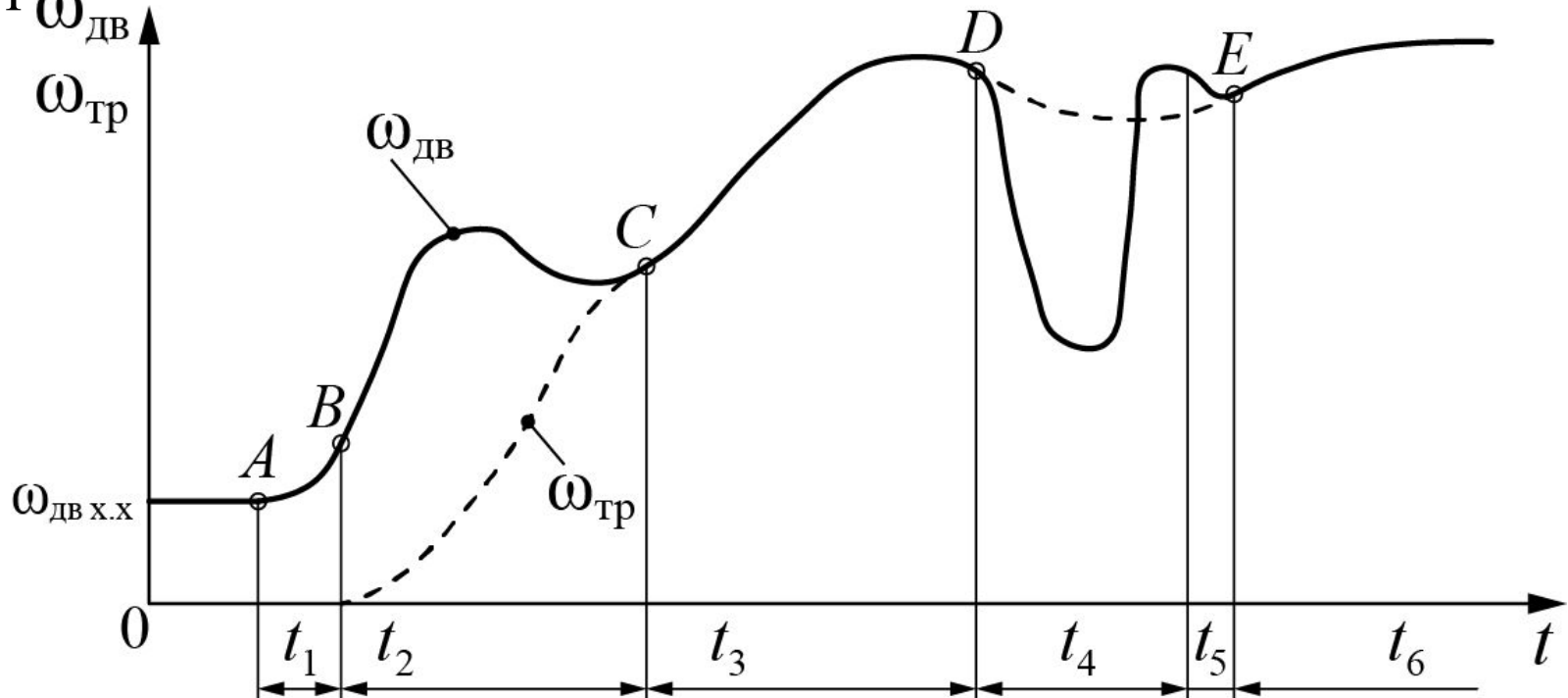
# Характеристики разгона КМ



В точке  $C$  процесс буксования заканчивается и  $\omega_{тр} = \omega_{дв}$ . Степень подачи топлива и интенсивность включения муфты регулирует водитель. Время буксования муфты  $t_6 = t_1 + t_2$  изменяется в широких пределах (0,5...4 с) и зависит от массы КМ, конструкции муфты и трансмиссии.

# Характеристики разгона КМ

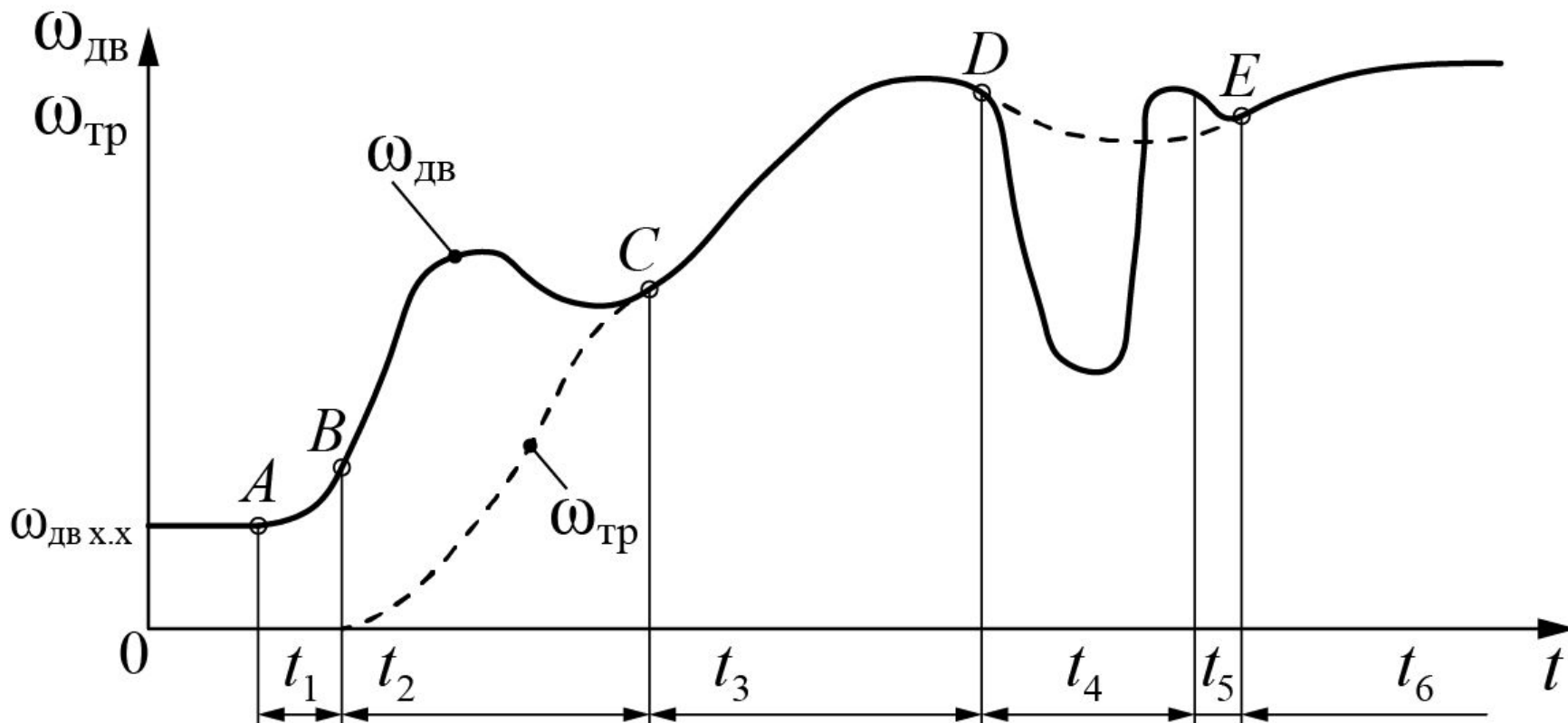
За время  $t_3$  КМ разгоняется до наиболее рациональной скорости.



В точке  $D$  водитель выключает муфту и переключает передачу. В течение времени  $t_4$  КМ движется по инерции, а в течение времени  $t_5$  — с пробуксовкой муфты, но уже на следующей передаче.



# Характеристики разгона КМ



В точке  $E$  угловые скорости  $\omega_{дв}$  и  $\omega_{гр}$  выравниваются.  
В течение времени  $t_6$  и далее процесс повторяется до достижения максимальной скорости движения КМ.

# Ускорения КМ

Для случая полной подачи топлива линейное ускорение КМ  $a_{mx}$  при заданном коэффициенте сопротивления движению  $\psi$  вычисляется по формуле:

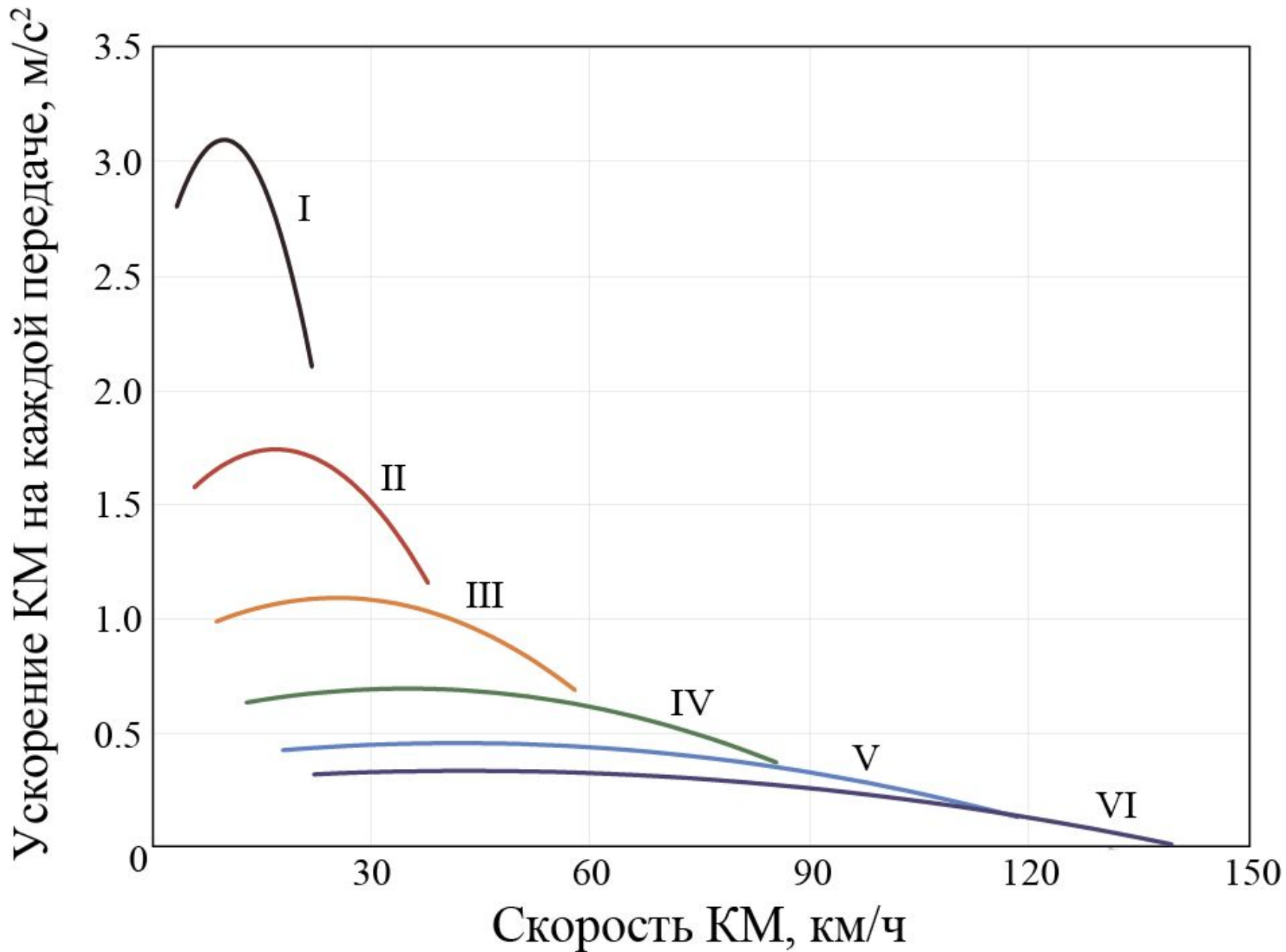
$$a_{mx} = \frac{(D - \psi) \cdot g}{\delta_{вр}}$$

Максимально возможное ускорение  $a_{mx \max}$  ограничивается сцепными свойствами пары КД-ОП. Для полноприводных КМ на горизонтальной ( $a_{опх} = 0$ ) ОП

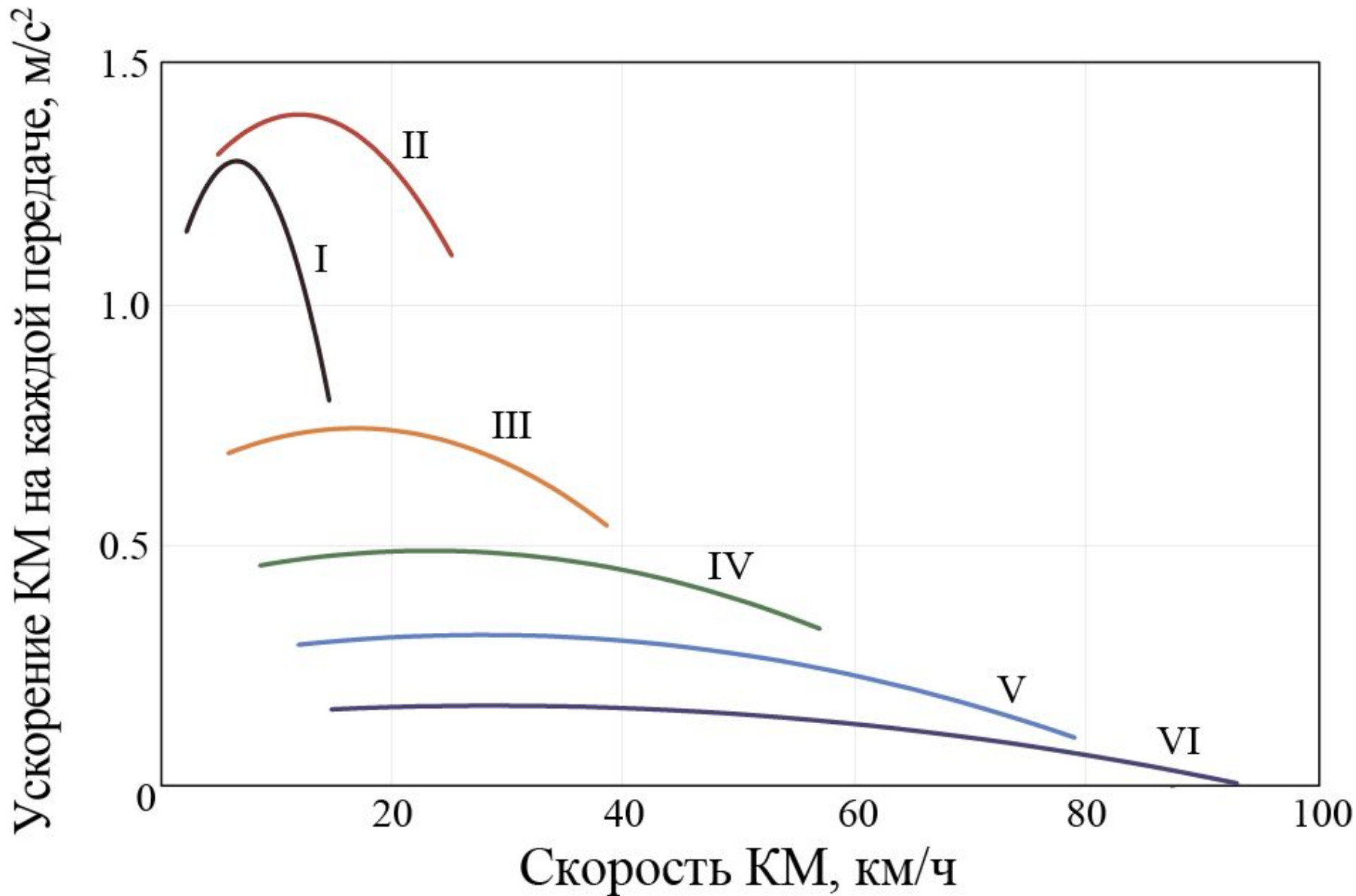
$$a_{mx \max} = \frac{(\varphi - \psi) \cdot g}{\delta_{вр}}$$

Для неполноприводных КМ  $a_{mx \max}$  зависит от распределения нормальных нагрузок по ведущим осям.

# Характеристика ускорений ГМ



# Характеристика ускорений ГМ



# Время и путь разгона КМ

Оценка приемистости КМ по зависимости  $a_{\text{мх}}(m_{\text{м}}, v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}})$  достаточно трудоемка, поэтому используют более наглядные показатели:

- время разгона  $t_{\text{разг}}$

- путь разгона  $S_{\text{разг}}$

КМ в заданном интервале скоростей, которые определяют расчетным или опытным путем.

Без учёта буксования муфты на выбранном интервале скоростей определяют средние значения скоростей, ускорений, а также элементарные время и путь разгона.

# Время и путь разгона КМ

В самом простом случае – при допущении о мгновенном трогании с места (без учета буксования муфты) – кривую  $a_{\text{мх}}$  ( $m_{\text{м}}, v_{\text{мх}}, u_{\text{тр}}$ ) разбивают на элементарные участки с интервалом:

$$\Delta v_{\text{мх}} = v_{\text{мх}(i+1)} - v_{\text{мх}i}$$

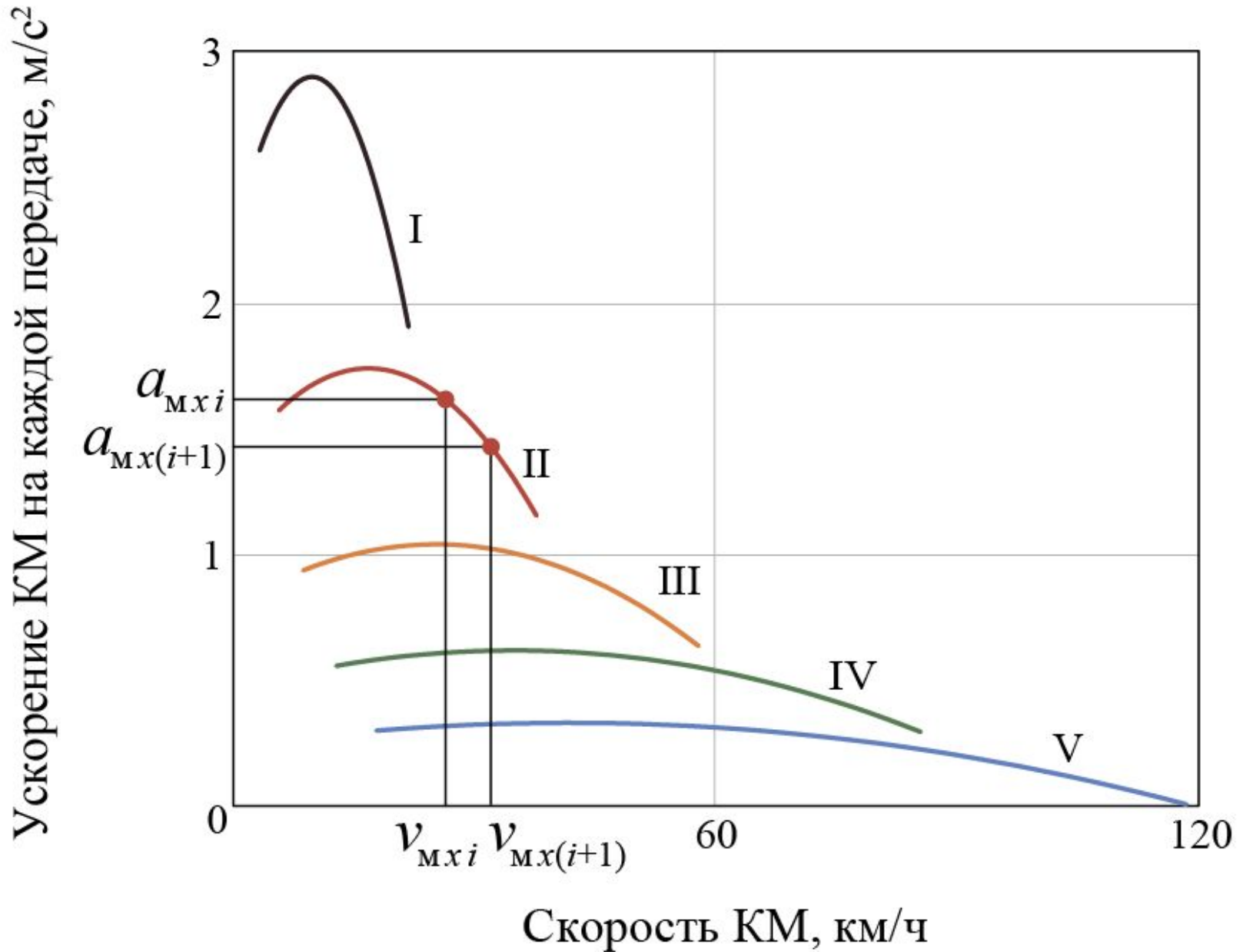
на которых определяют средние значения ускорения

$$\bar{a}_{\text{мх}} = 0,5 \cdot \left( a_{\text{мх}i} + a_{\text{мх}(i+1)} \right)$$

и средние значения скорости

$$\bar{v}_{\text{мх}} = 0,5 \cdot \left( v_{\text{мх}i} + v_{\text{мх}(i+1)} \right)$$

# Время и путь разгона ГМ



# Время и путь разгона КМ

Затем находят элементарные время и путь разгона со скорости  $v_{мх i}$  до  $v_{мх (i+1)}$ :

$$\Delta t_{\text{разг}} = \frac{\Delta v_{мх}}{\bar{a}_{мх}}$$

$$\Delta S_{\text{разг}} = \bar{v}_{мх} \cdot \Delta t_{\text{разг}}$$

и полные время и путь разгона:

$$t_{\text{разг}} = \sum_{i=1}^p \Delta t_{\text{разг}}$$

$$S_{\text{разг}} = \sum_{i=1}^p \Delta S_{\text{разг}}$$

где  $p$  – число рассматриваемых элементарных участков



# Время и путь разгона КМ

Переход на следующую передачу осуществляется:

- 1) Если кривые  $a_{mx}$  не пересекаются, то переключение происходит на максимальной скорости предыдущей передачи.
- 2) Если они пересекаются, то переключение происходит при скорости, соответствующей их пересечению, либо (что более рационально) при несколько большей скорости:

$$v_{mx} = v_{mxi} + 0,5 \cdot \Delta v_{\text{пер}}$$

где  $v_{mxi}$  – скорость на пересечении;

$\Delta v_{\text{пер}}$  – падение скорости при переключении.

# Время и путь разгона КМ

Замедление при переключении передач:

$$a_{\text{м.х}} = - \frac{P_{\text{с.выб}}}{m_{\text{м}} \cdot \delta_{\text{вр}}}$$

Сила сопротивления выбегу КМ:

$$P_{\text{с.выб}} = P_{f_{\text{шм}}} + P_w + P_{\text{м.х}} + P_{\text{пц.х}} + P_{f_{\text{п}}} + P_{\text{тр.х.х}}$$

где  $P_{\text{тр.х.х}}$  – условная составляющая силы сопротивления холостого хода трансмиссии:

$$P_{\text{тр.х.х}} = \left( \sum_i M_{\text{тр.х.х } i} \cdot u_{\text{три}} \right) / r_{\text{к}}$$

$M_{\text{тр.х.х}}$  – момент сопротивления  $i$ -го узла трансмиссии на холостом ходу.

# Время и путь разгона КМ

Падение скорости за время переключения:

$$\Delta v_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{с выб}} \cdot t_{\text{пер}}}{m_{\text{м}} \cdot \delta_{\text{вр}}}$$

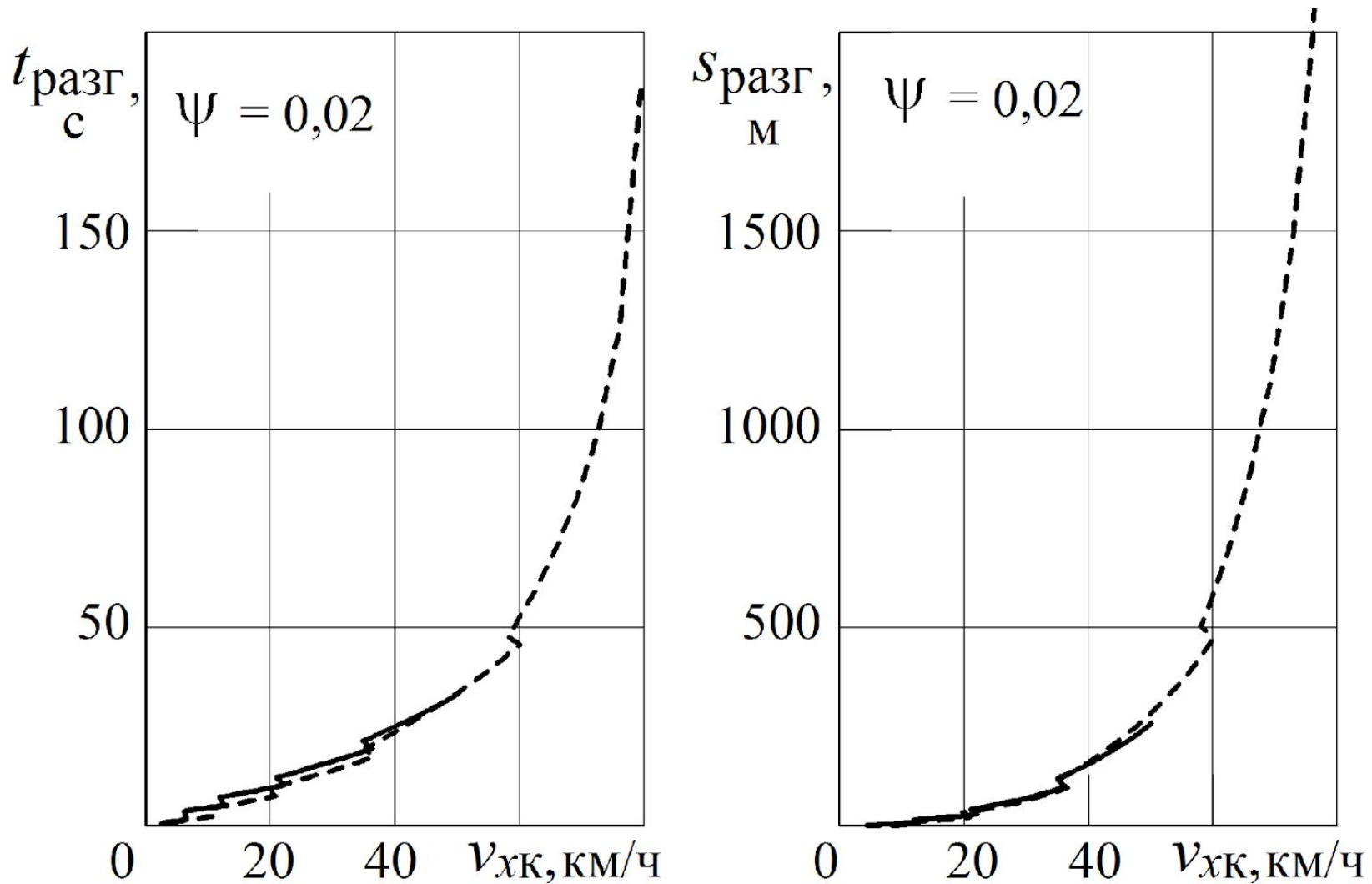
Путь, проходимый КМ за время переключения

$$S_{\text{пер}} = \left( v'_{\text{пер}} - 0,5 \cdot \Delta v_{\text{пер}} \right) \cdot t_{\text{пер}}$$

Время переключения передач  $t_{\text{пер}} = 1 \dots 2$  с.

Разгон осуществляется до значения  $a_{\text{мх}} = 0$ .

# Время и путь разгона КМ



Разгонные характеристики автомобиля «Урал-4320» при  $u_{рк} = 2,15$  (сплошные линии) и 1,3 (штриховые линии)