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:

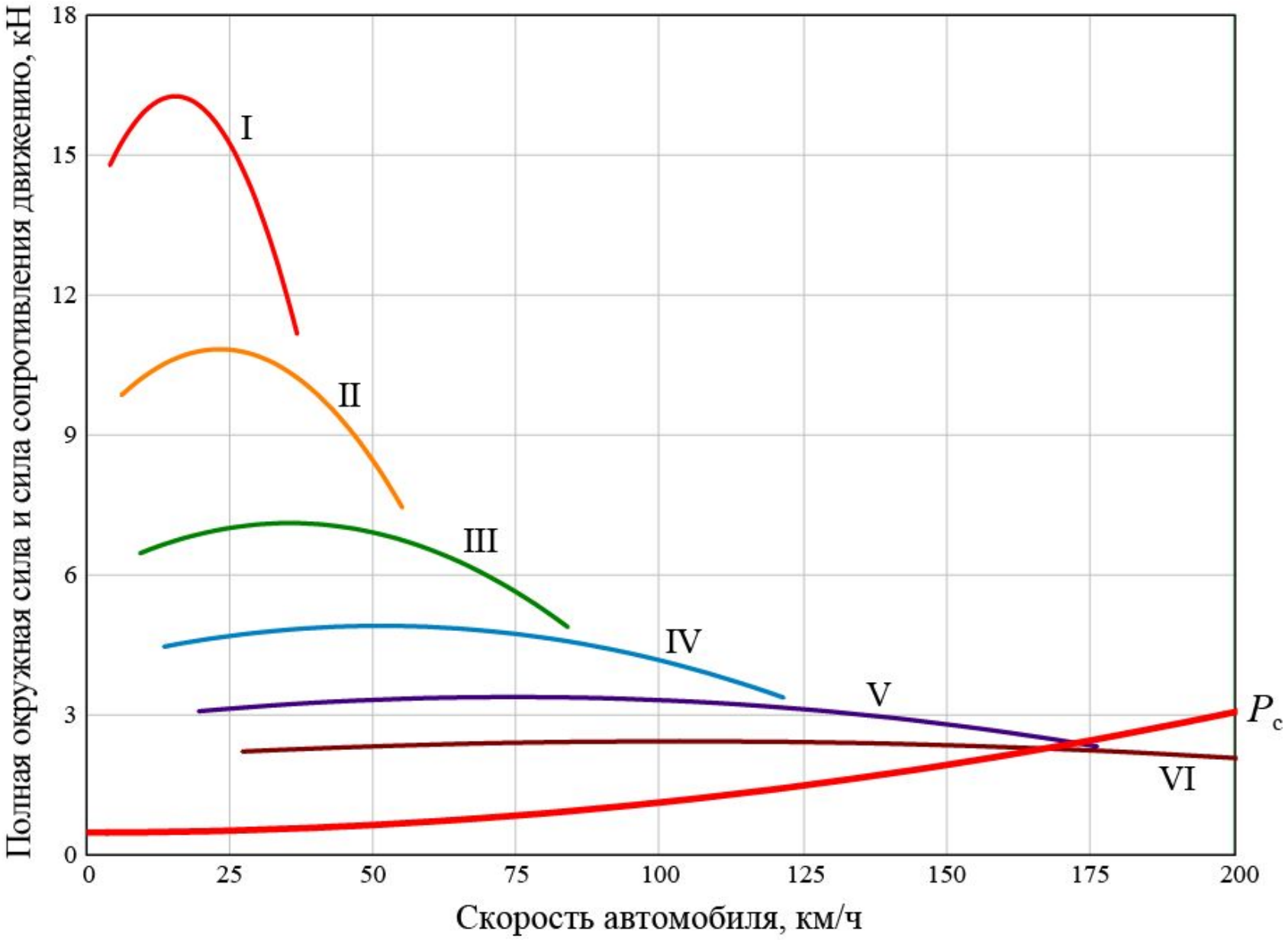
$$P_{\text{св}} = P_{\text{км}} - P_w = P_{f_{\text{шм}}} + P_{\text{м}x} + P_{\text{пц}\,x} + P_{f\text{п}} + P_{\text{ин}}$$

Можно построить зависимости

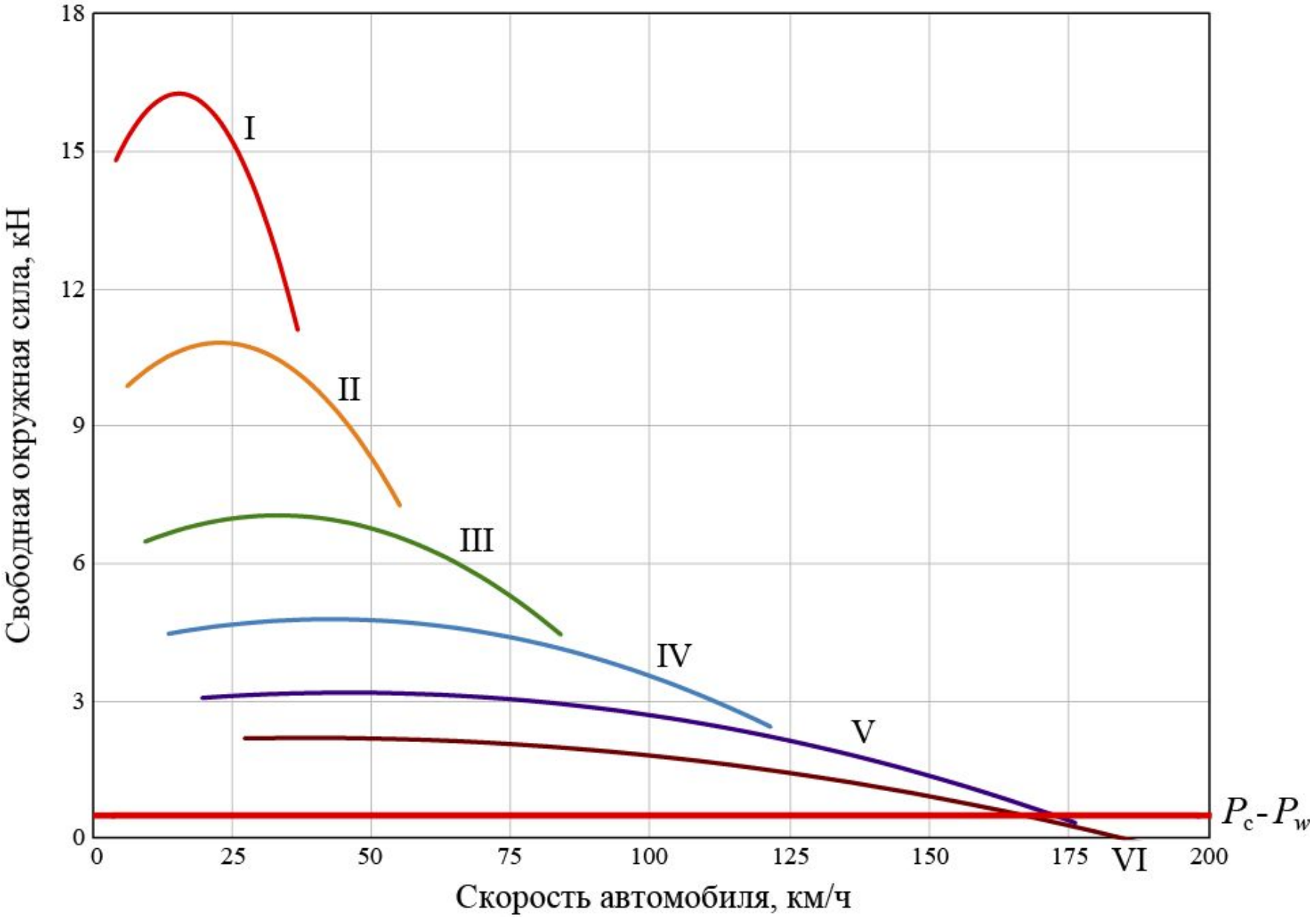
$$P_{\text{км}} = f\left(v_{\text{м}x},\, u_{\text{тр}}\right) \quad \text{и} \quad P_{\text{св}} = f\left(v_{\text{м}x},\, u_{\text{тр}}\right)$$

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*:

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

и безразмерной характеристики

$$D_{\Phi} = f\left(m_{\text{м}},\ v_{\text{м}x},\ u_{\text{тр}}\right)$$

Тягово-скоростные свойства КМ

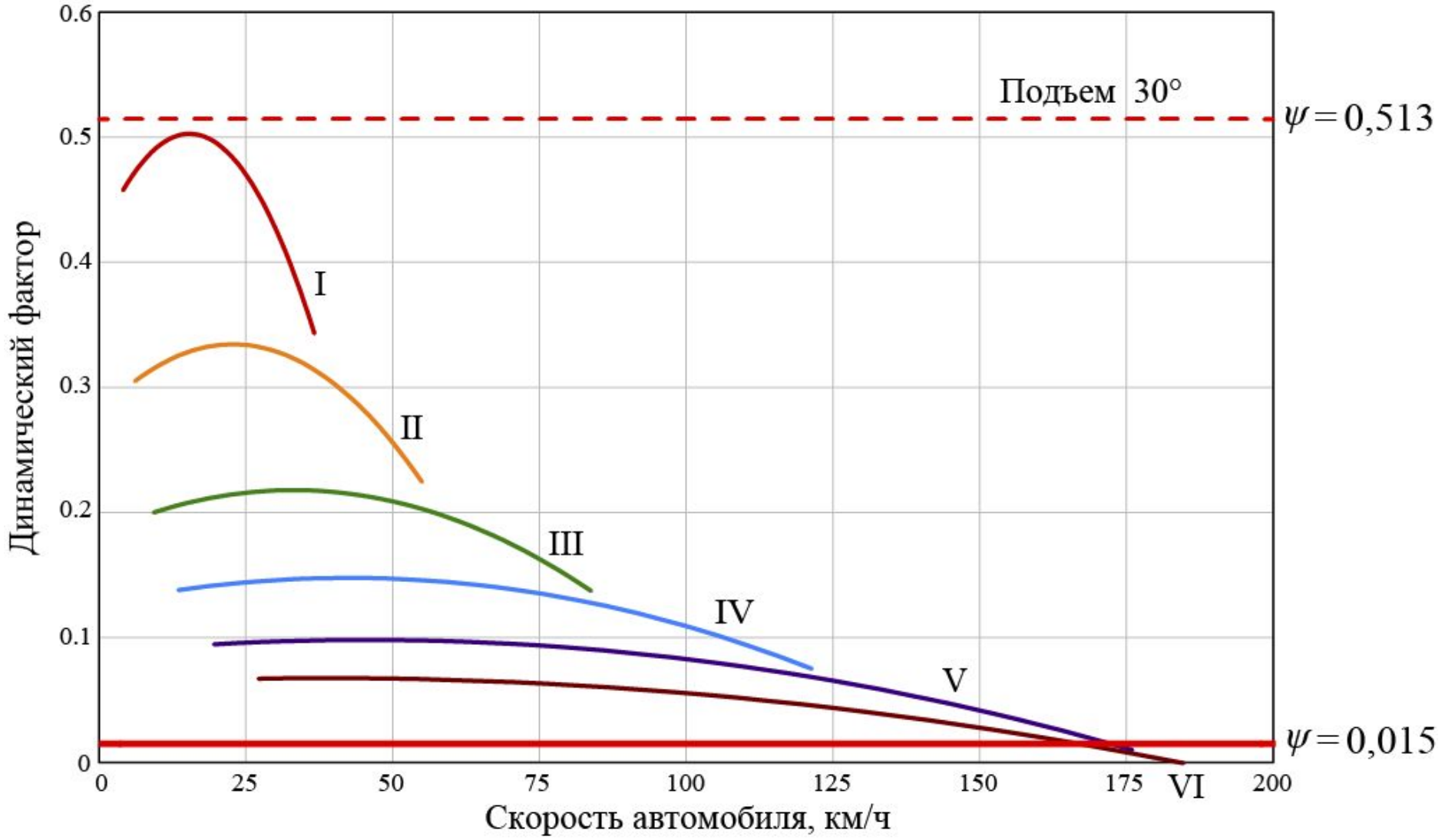
При отсутствии прицепной нагрузки ($P_{\text{пц } x}$) и потерь в подвеске ($P_{f\ \text{п}}$) можно получить уравнение баланса сил в безразмерном виде:

$$D_{\text{ф}} = \psi + \frac{a_{\text{м}x}\delta_{\text{вр}}}{g}$$

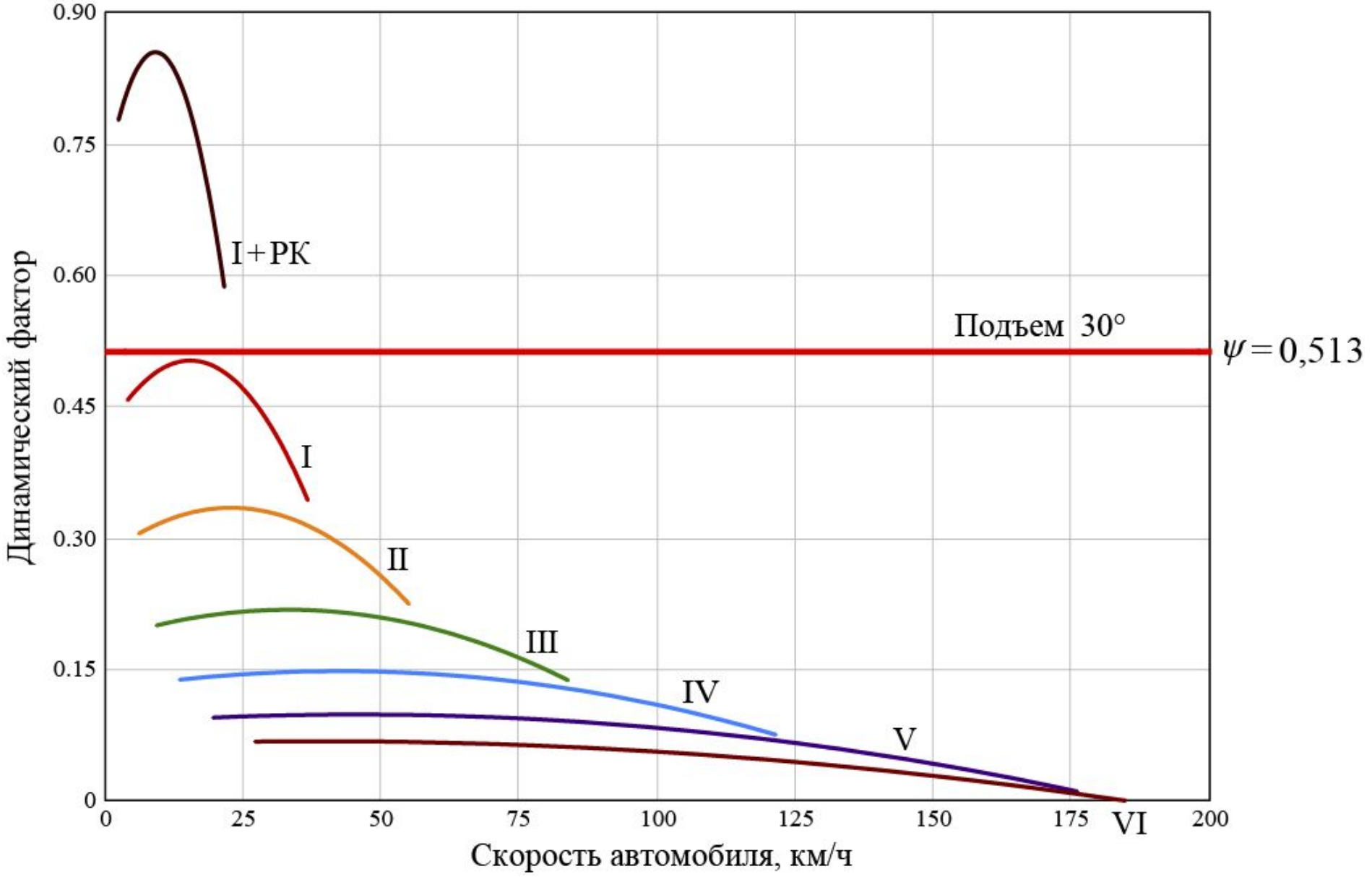
где ψ – коэффициент сопротивления движению КМ

$$\psi = f_{ш}\cos\alpha_{\text{оп}x} + \sin\alpha_{\text{оп}x}$$

Динамическая характеристика КМ

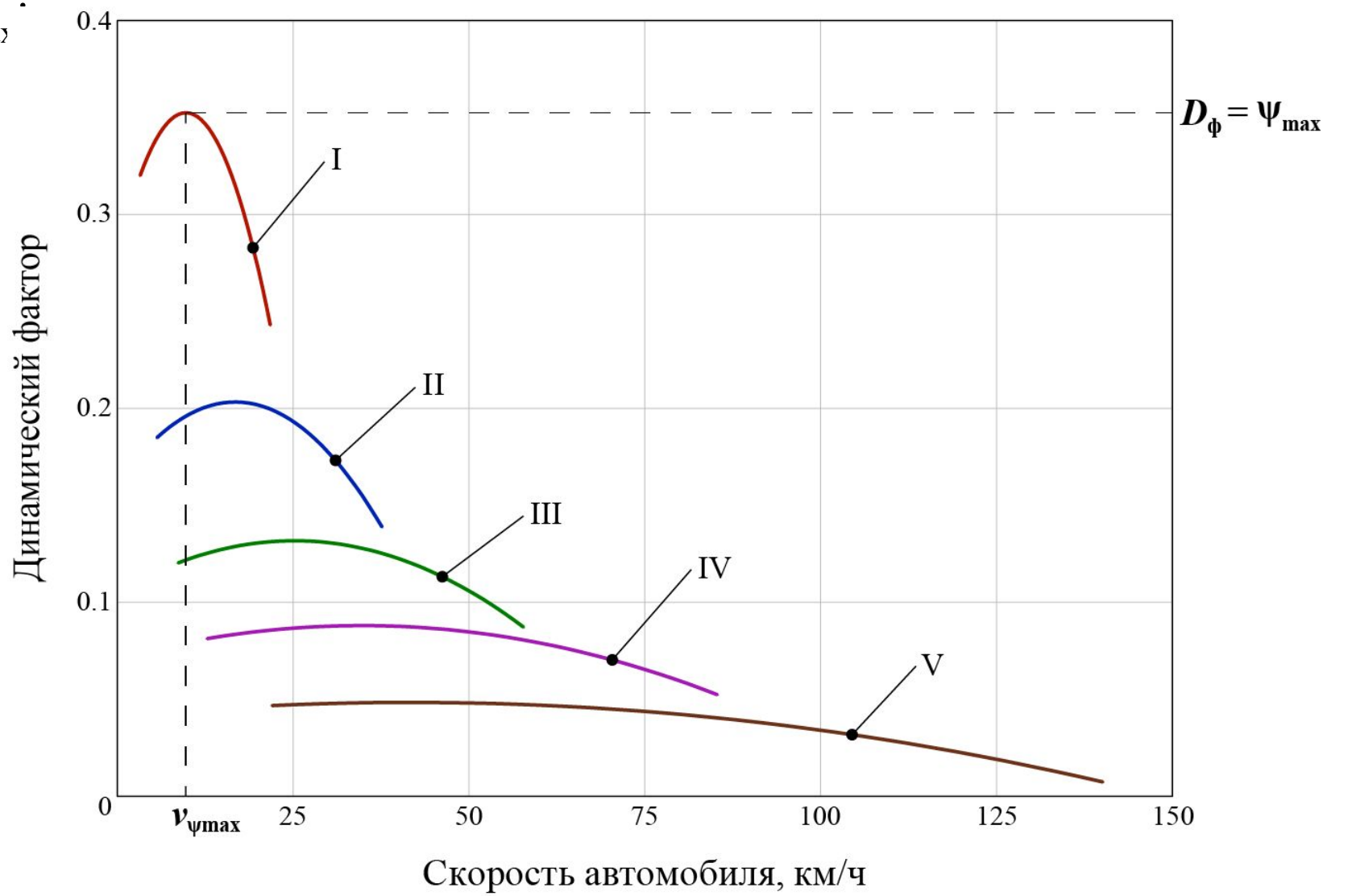


Динамическая характеристика КМ

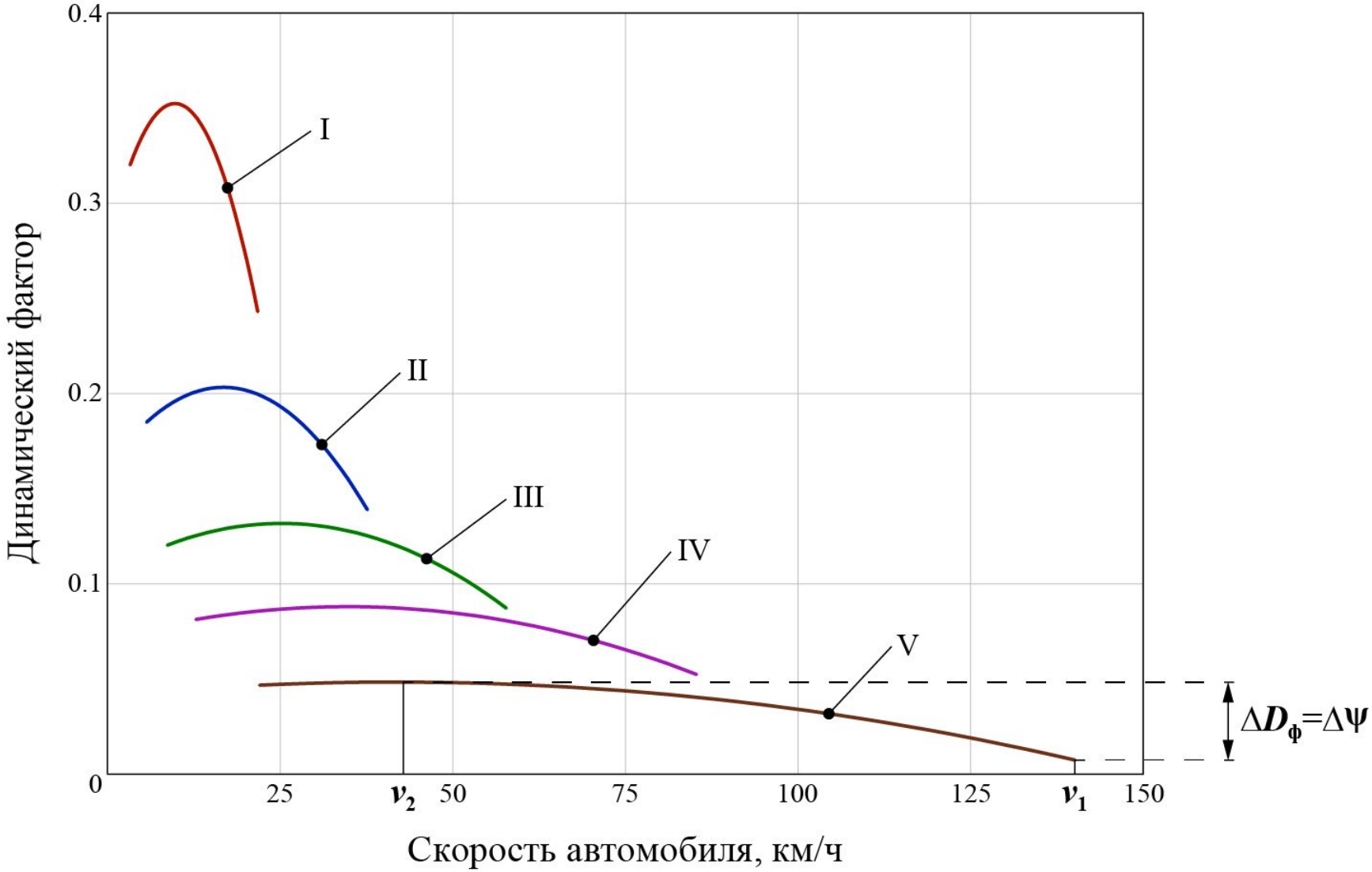


По динамической характеристике КМ можно определить:

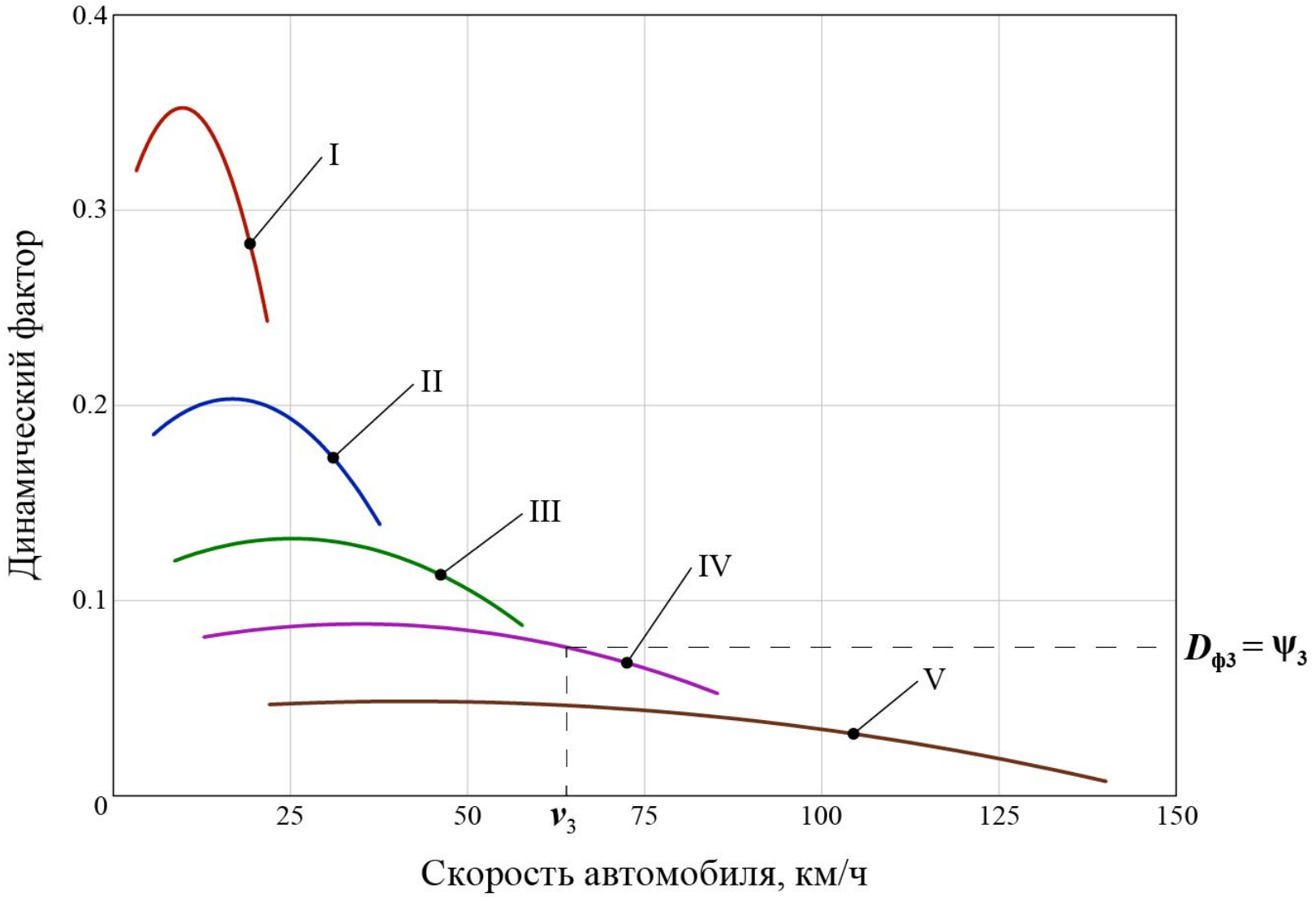
1) максимальный коэффициент сопротивления движению (тяговую возможность) $\psi_{max} = D_ф$ и соответствующую ему скорость движения $V_{\psi max}$.



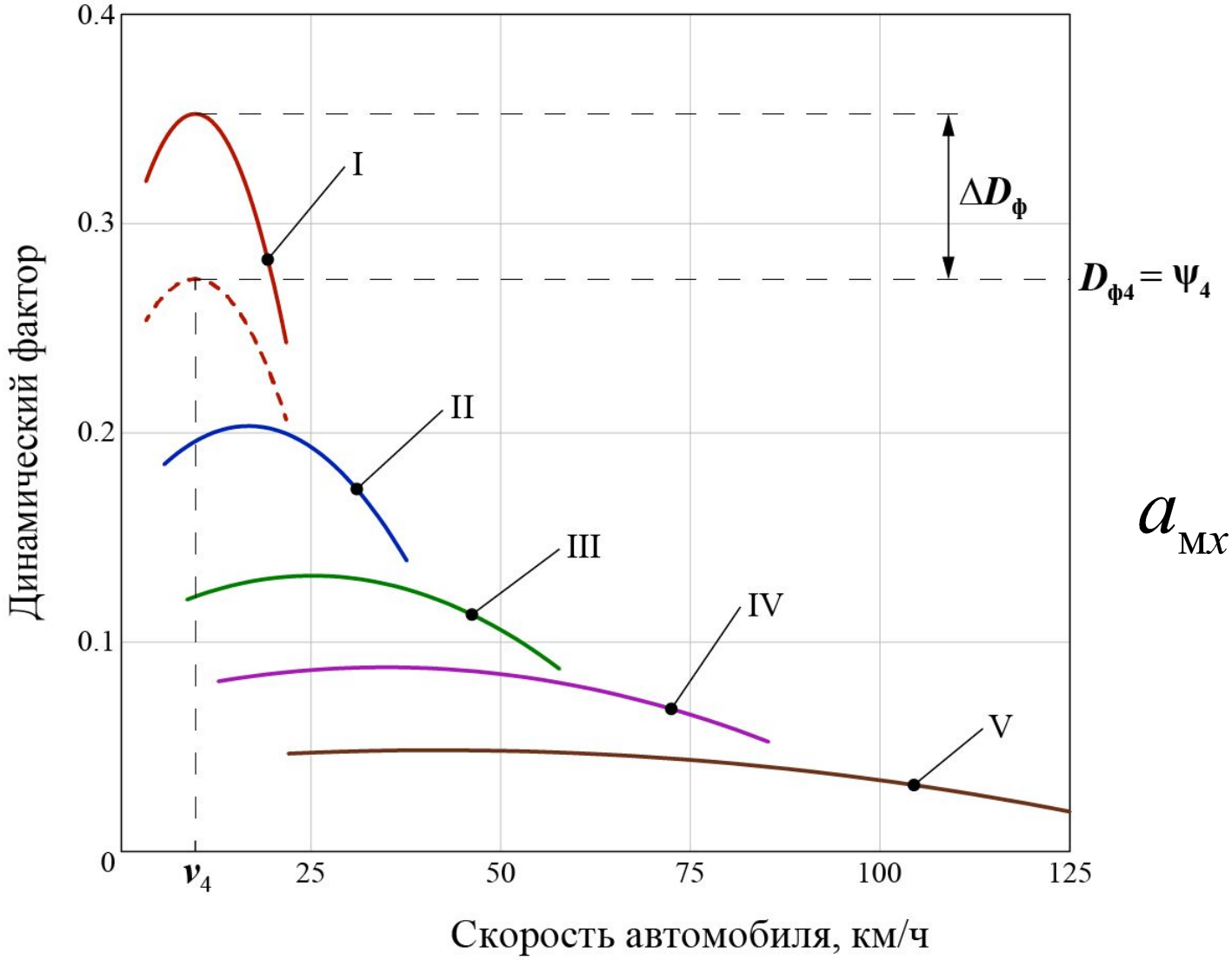
2) диапазон изменения коэффициента сопротивления движению $\Delta\psi = \Delta D_{ф}$ при движении на высшей (V) передаче с начальной максимальной скоростью V_1 без перехода на низшую передачу (IV), а также скорость движения при возросшем сопротивлении;



3) определить максимальное значение скорости V_3 движения при полной подачи топлива и заданным сопротивлением движению $\psi_3 = D_{ф3}$;



4) наибольшее ускорение при разгоне с начальной скоростью V_4, коэффициентом сопротивления движению $\psi_4 = D_{ф4}$ и работе двигателя на частичной характеристике (пунктирная линия);



$$a_{мх} = \frac{\Delta D_ф \cdot g}{\delta_{вр}}$$

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 (ΣR_{xi}).

Мощностная характеристика КМ

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

Изменение мощности на каждой передаче в трансмиссии:

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

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_S.

Мощностная характеристика КМ

Мощность внешних сопротивлений

$$N_{\text{с}} = N_{f_{\text{шм}}} + N_w + N_{\text{м}x} + N_{\text{пц}\,x} + N_{f\text{п}} + N_{\text{ин}} + N_S$$

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

N_w – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха

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

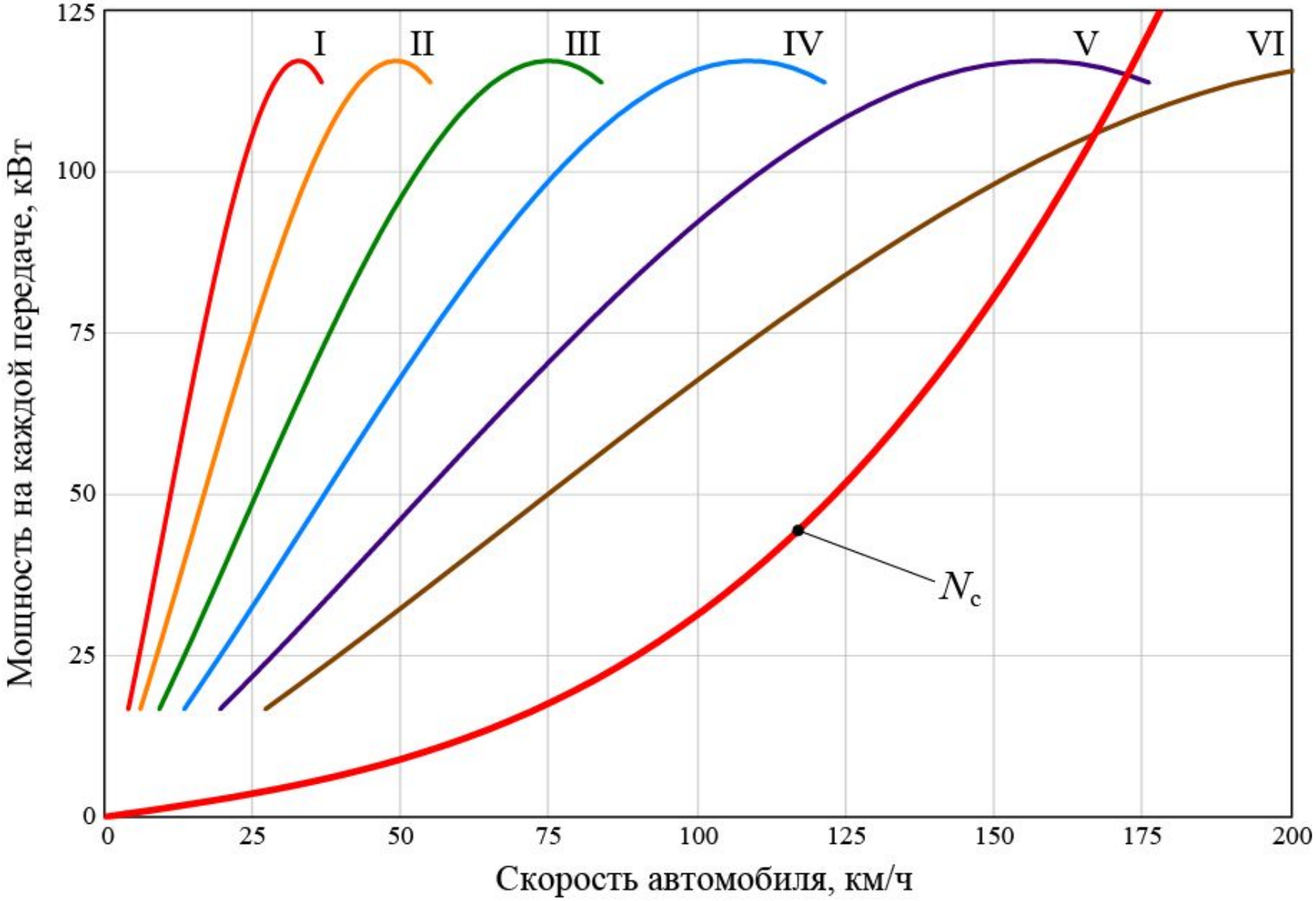
$N_{\text{пц}\,x}$ – мощность, затрачиваемая на тягу прицепа

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

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

$N_{\text{}}$ – мощность, затрачиваемая на буксование

Мощностная характеристика КМ



Мощностная характеристика КМ

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

$$k_{иN} = \frac{N_с}{N_{км}}$$

$N_с$ – мощность, необходимая для движения по ОП с заданным коэффициентом ψ, 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.

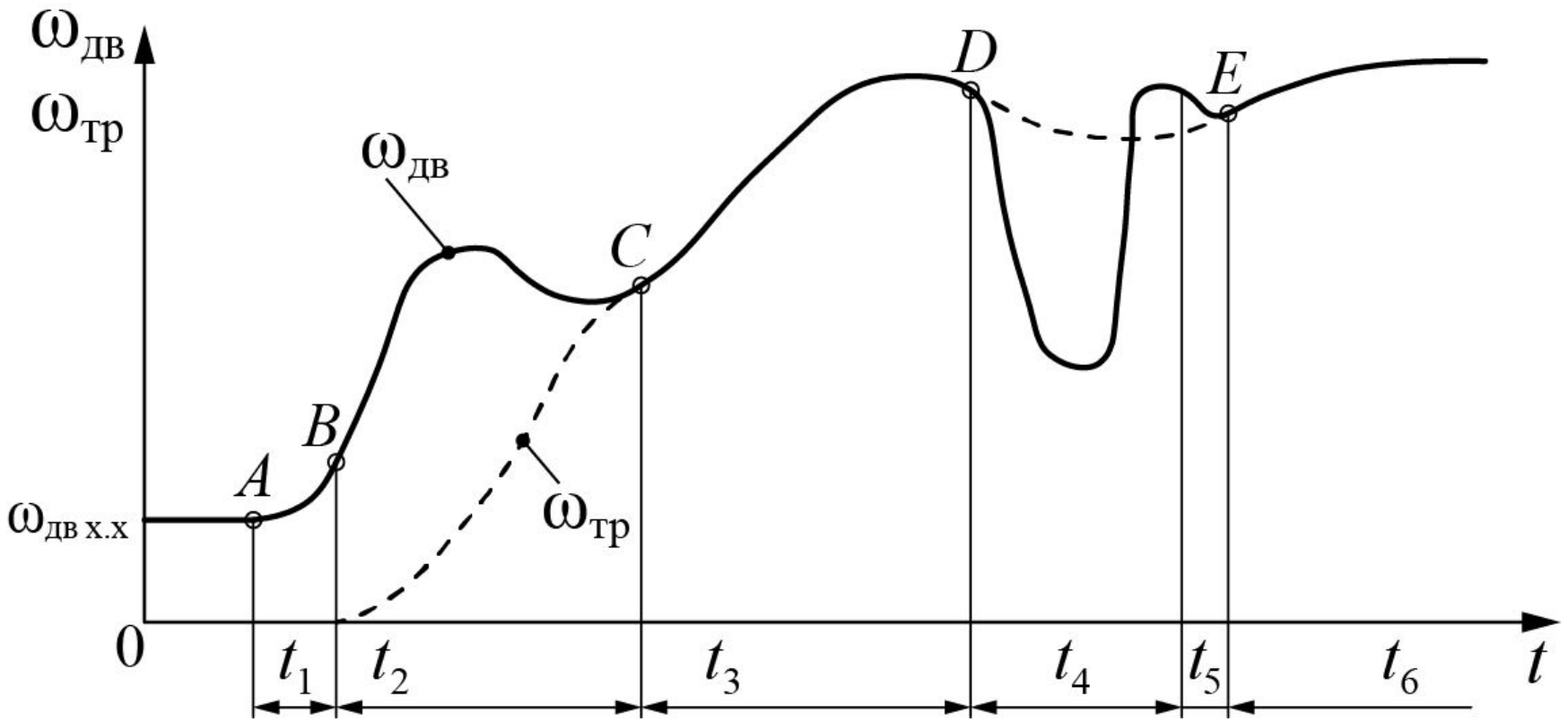
Приемистость – способность КМ быстро увеличивать скорость движения.

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

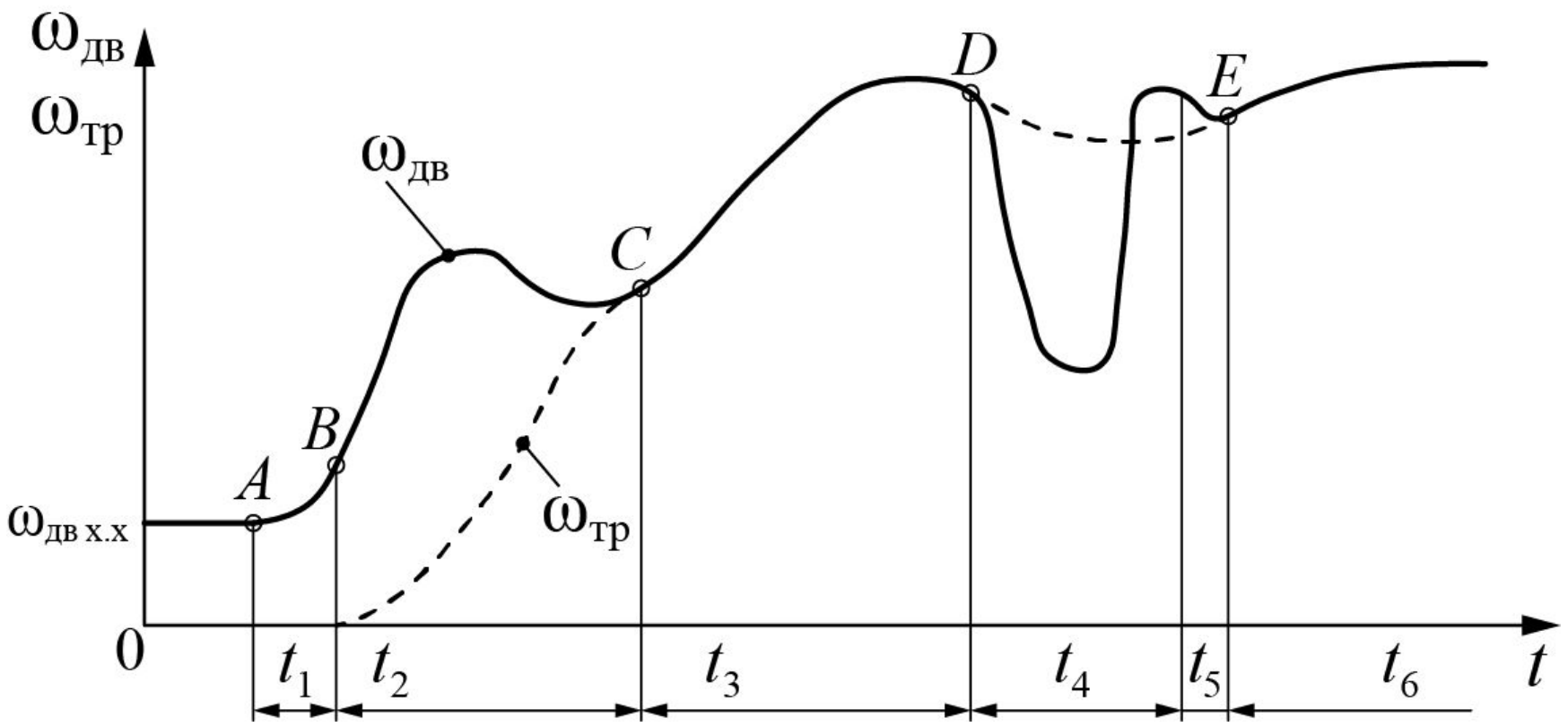
Изменение угловых скоростей вала двигателя и входного вала трансмиссии при трогании и разгоне КМ.



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.

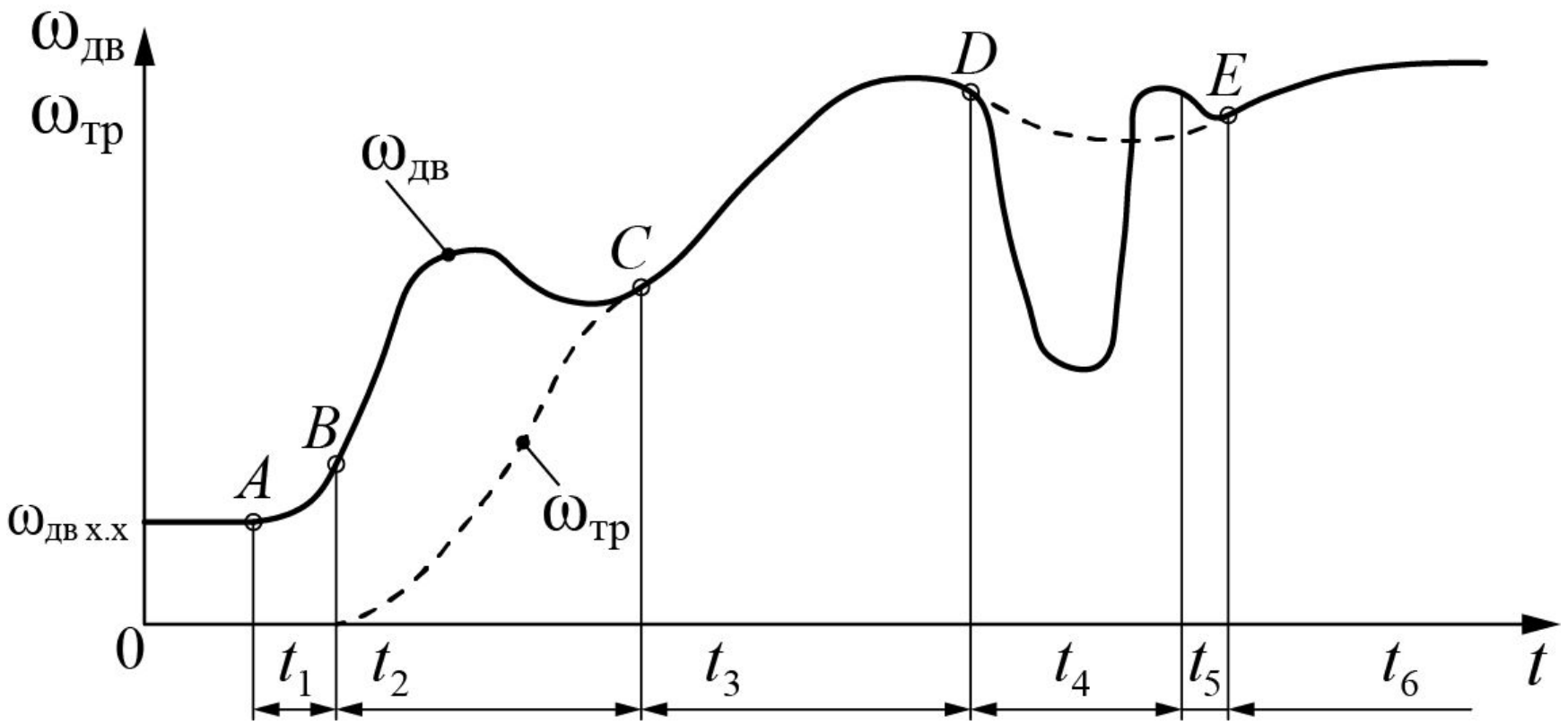
Характеристики разгона КМ

При увеличении подача топлива и включении муфты начинается процесс ее буксования



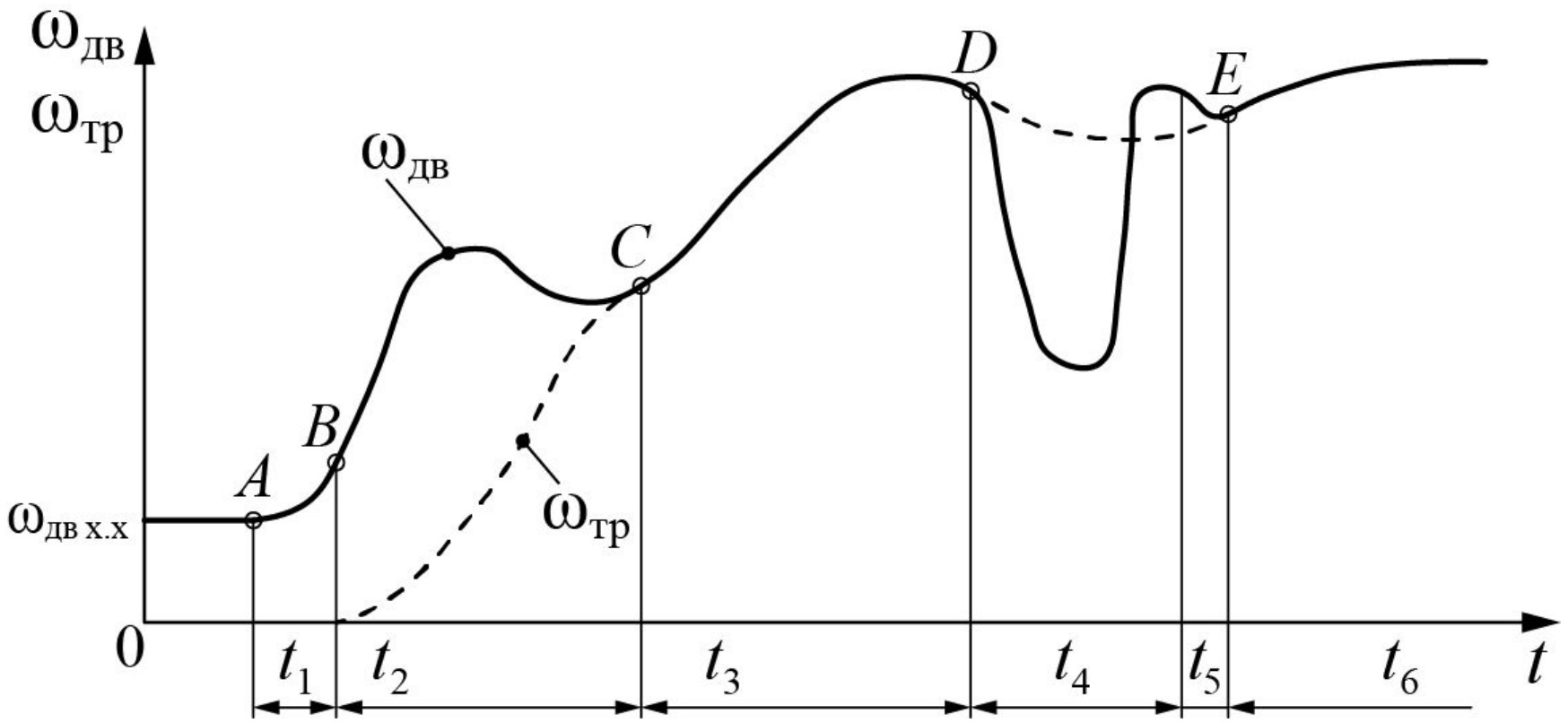
Точка ***A*** – начало возрастание угловой скорости двигателя и момента трения в муфте.

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.

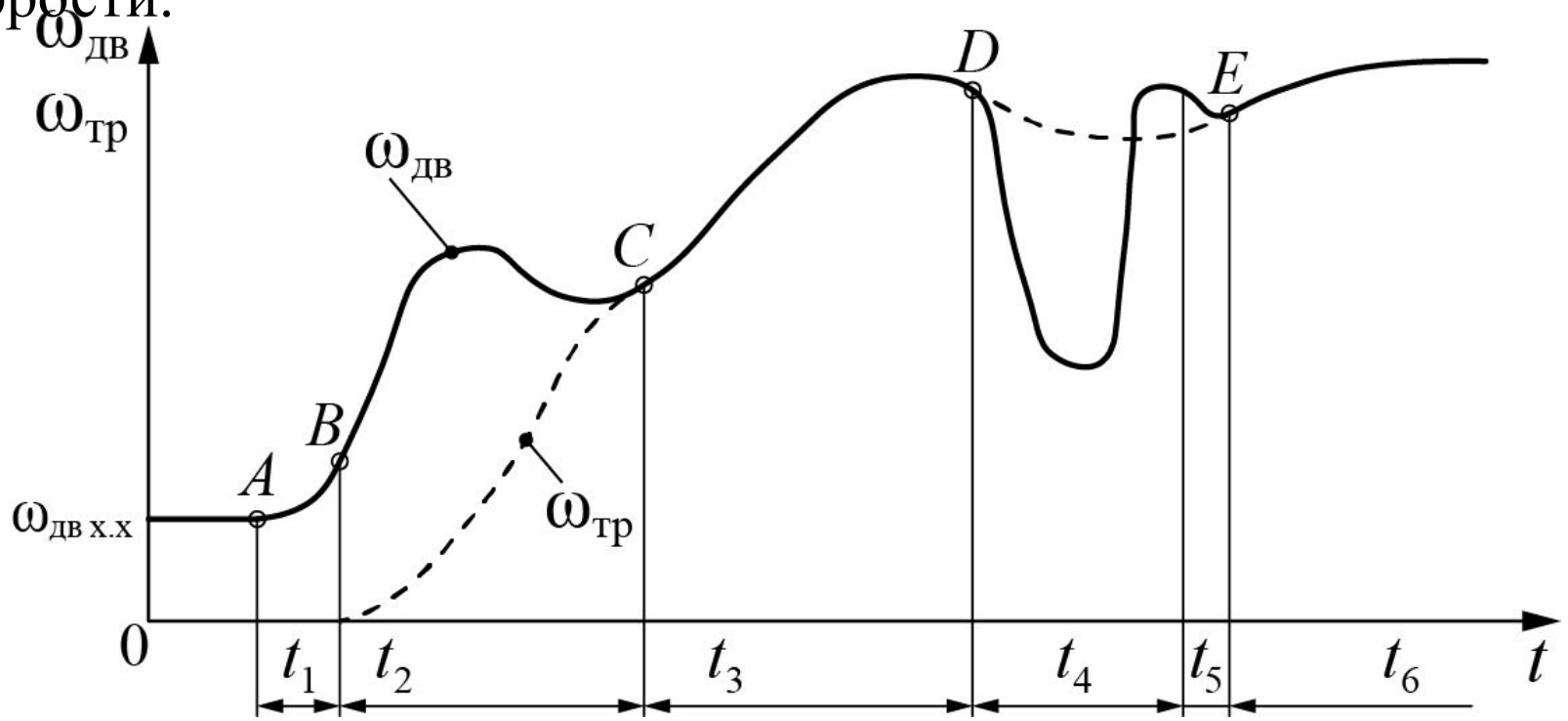
Характеристики разгона КМ



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

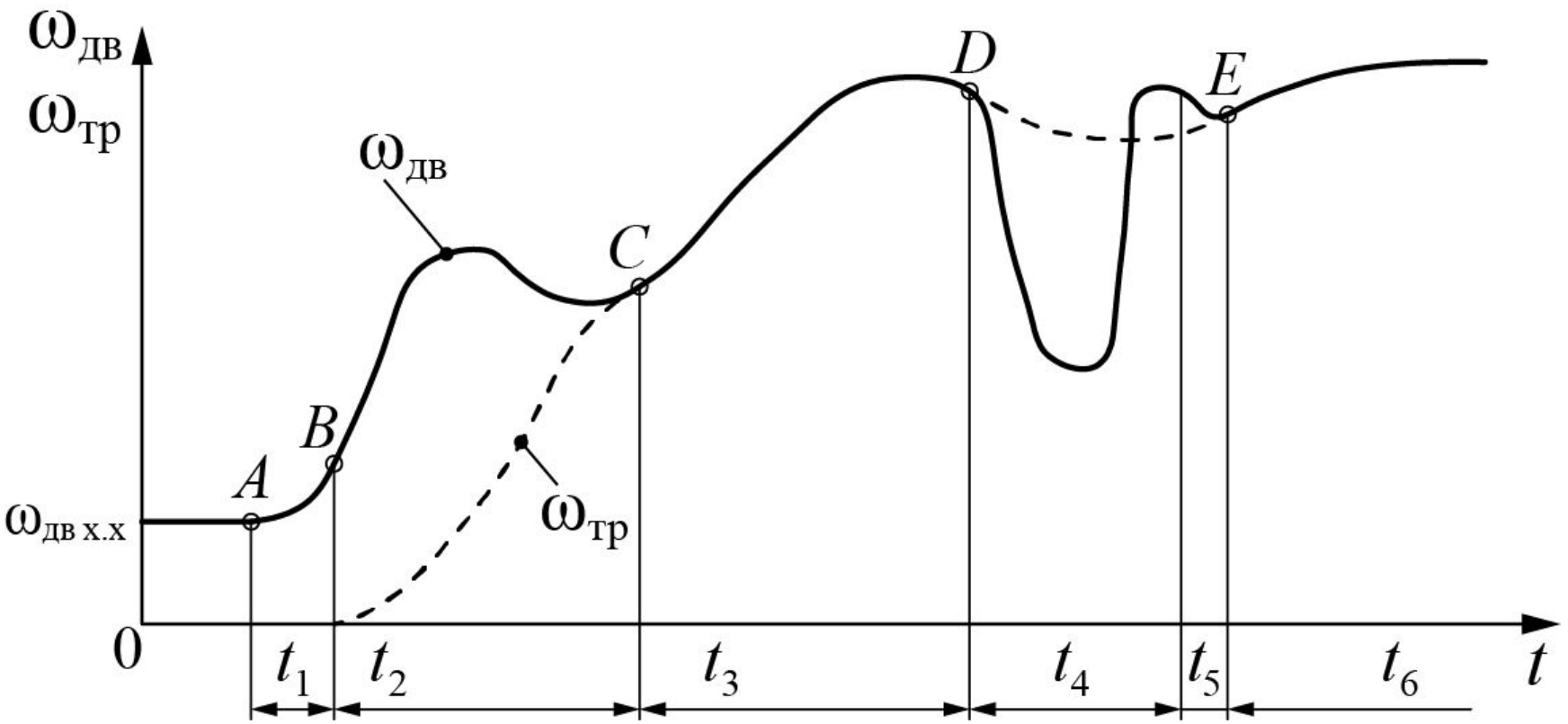
Характеристики разгона КМ

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 $\omega_{тр}$ 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 $\boldsymbol{a_{мx}}$ при заданном коэффициенте сопротивления движению $\boldsymbol{\psi}$ вычисляется по формуле:

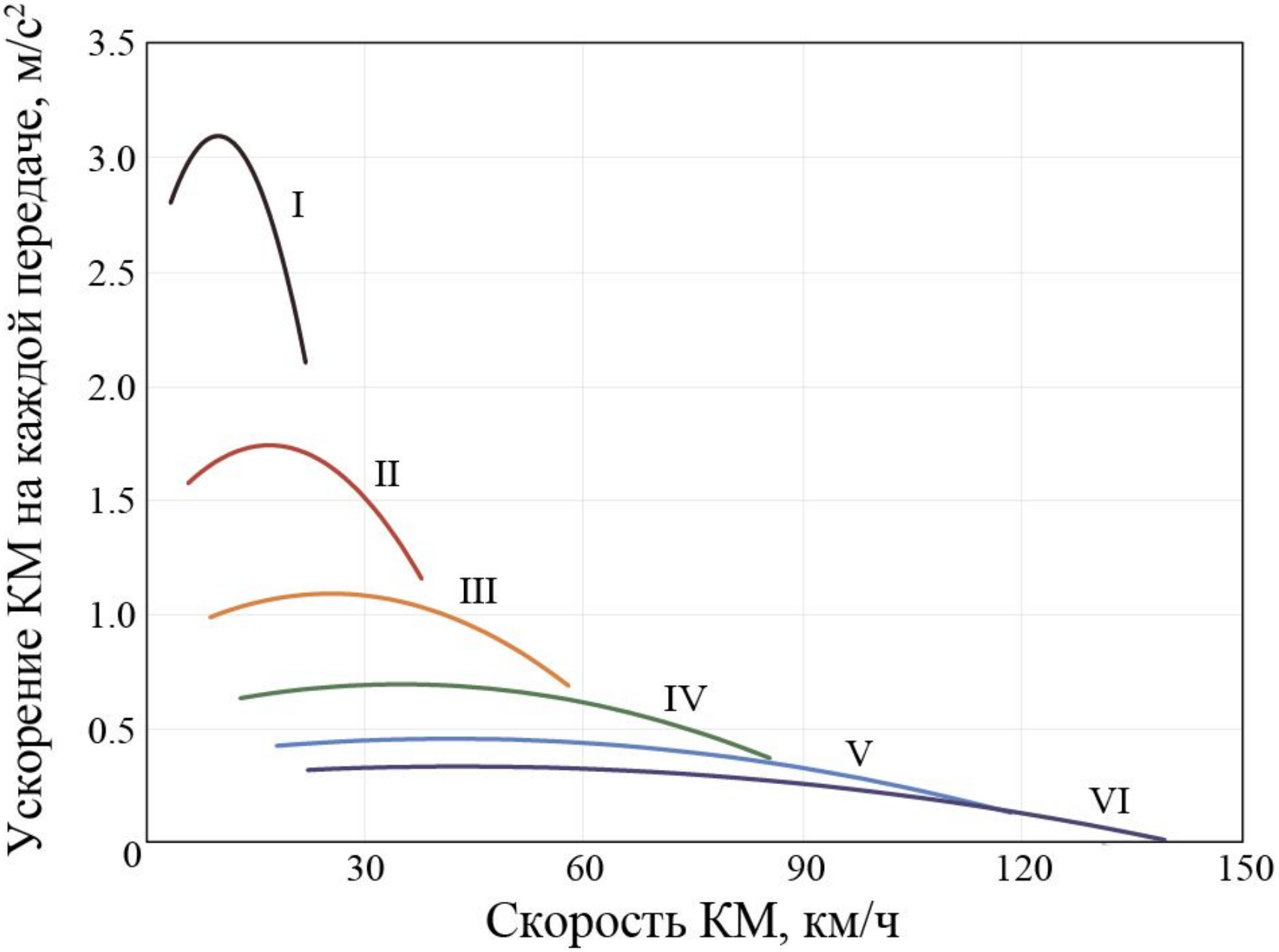
$$a_{м\,x} = \frac{\left(D - \psi\right) \cdot g}{\delta_{вр}}$$

Максимально возможное ускорение $\boldsymbol{a_{м\,x\,max}}$ ограничивается сцепными свойствами пары КД-ОП. Для полноприводных КМ на горизонтальной ($\boldsymbol{\alpha_{опx} = 0}$) ОП

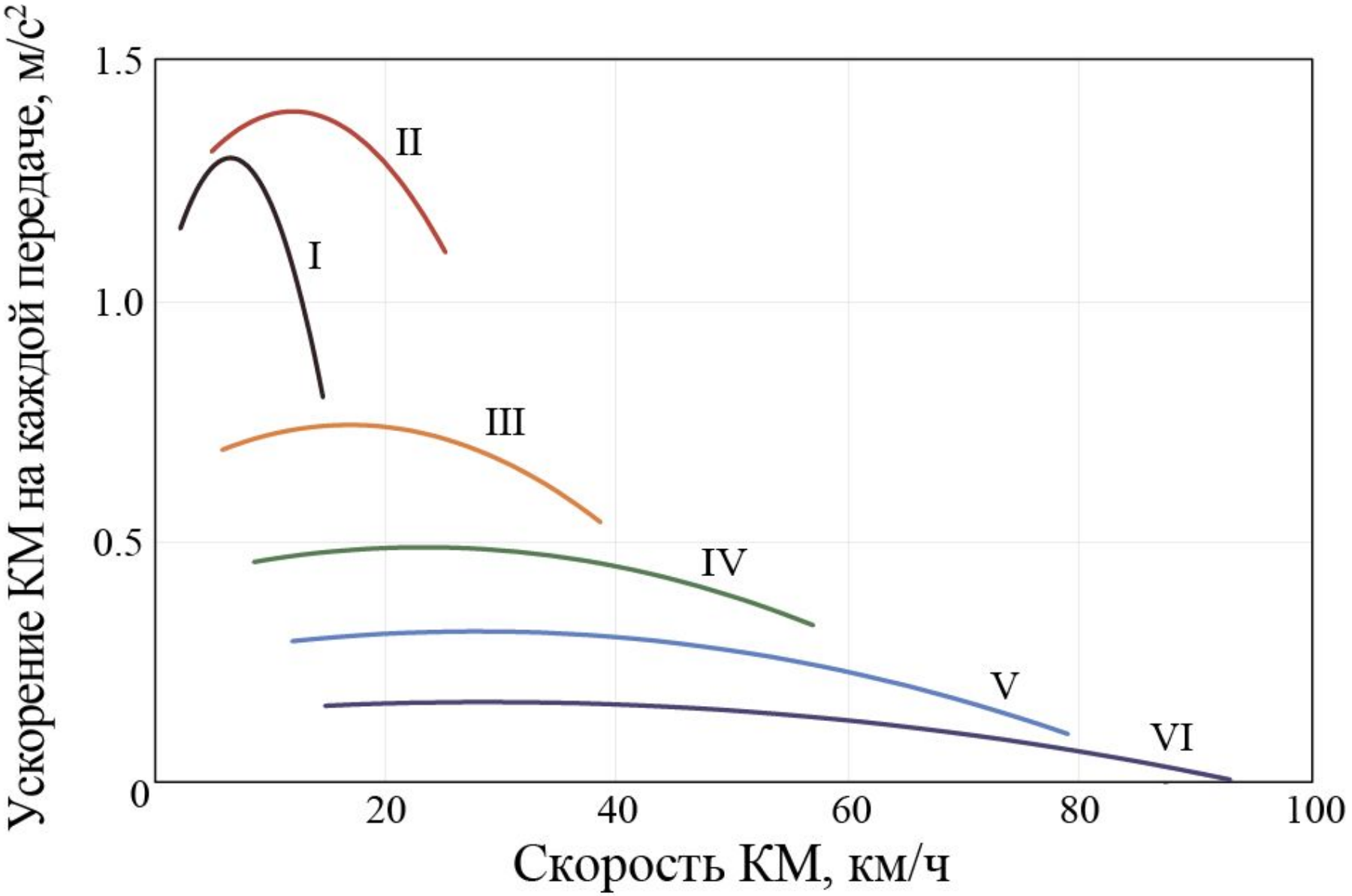
$$a_{м\,x\,\max} = \frac{\left(\varphi - \psi\right) \cdot g}{\delta_{вр}}$$

Для неполноприводных КМ $\boldsymbol{a_{м\,x\,max}}$ зависит от распределения нормальных нагрузок по ведущим осям.

Характеристика ускорений ГМ



Характеристика ускорений ГМ



Время и путь разгона КМ

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

- время разгона $t_{разг}$

- путь разгона $S_{разг}$

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 $\boldsymbol{a_{мx}(m_м, v_{мx}, u_{тр})}$ разбивают на элементарные участки с интервалом:

$$\Delta v_{м\,x} = v_{м\,x(i+1)} - v_{м\,xi}$$

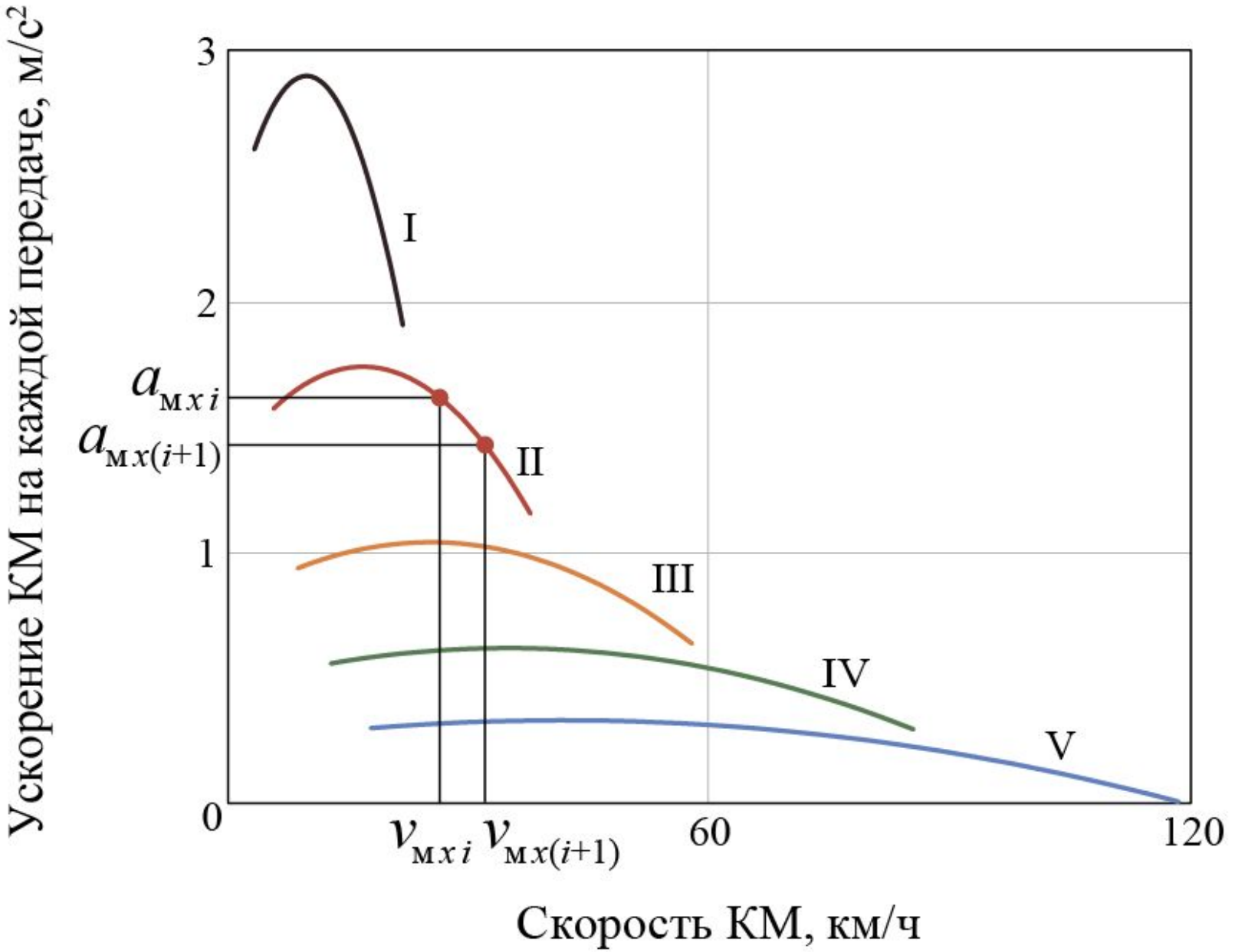
на которых определяют средние значения ускорения

$$\overline{a}_{м\,x} = 0{,}5 \cdot \left(a_{м\,xi} + a_{м\,x(i+1)} \right)$$

и средние значения скорости

$$\overline{v}_{м\,x} = 0{,}5 \cdot \left(v_{м\,xi} + v_{м\,x(i+1)} \right)$$

Время и путь разгона ГМ



Время и путь разгона КМ

Затем находят элементарные время и путь разгона со скорости $v_{\text{м}\,x\,i}$ до $v_{\text{м}\,x\,(i+1)}$:

$$\Delta t_{\text{разг}} = \frac{\Delta v_{\text{м}\,x}}{\overline{a}_{\text{м}\,x}} \qquad \Delta S_{\text{разг}} = \overline{v}_{\text{м}\,x} \cdot \Delta t_{\text{разг}}$$

и полные время и путь разгона:

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

где p – число рассматриваемых элементарных участков

Время и путь разгона КМ

Переход на следующую передачу осуществляется:

1) Если кривые $\boldsymbol{a_{мx}}$ 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:

$$v_{м\,x} = v_{м\,xi} + 0,5 \cdot \Delta v_{пер}$$

где $\boldsymbol{v_{м\,x\,i}}$ – скорость на пересечении;

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

Время и путь разгона КМ

Замедление при переключении передач:

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

Сила сопротивления выбегу КМ:

$$P_{\text{с выб}} = P_{f_{\text{шм}}} + P_{w} + P_{\text{м}\,x} + P_{\text{пц}\,x} + P_{f\text{п}} + P_{\text{тр х.х}}$$

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

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

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

Время и путь разгона КМ

Падение скорости за время переключения:

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

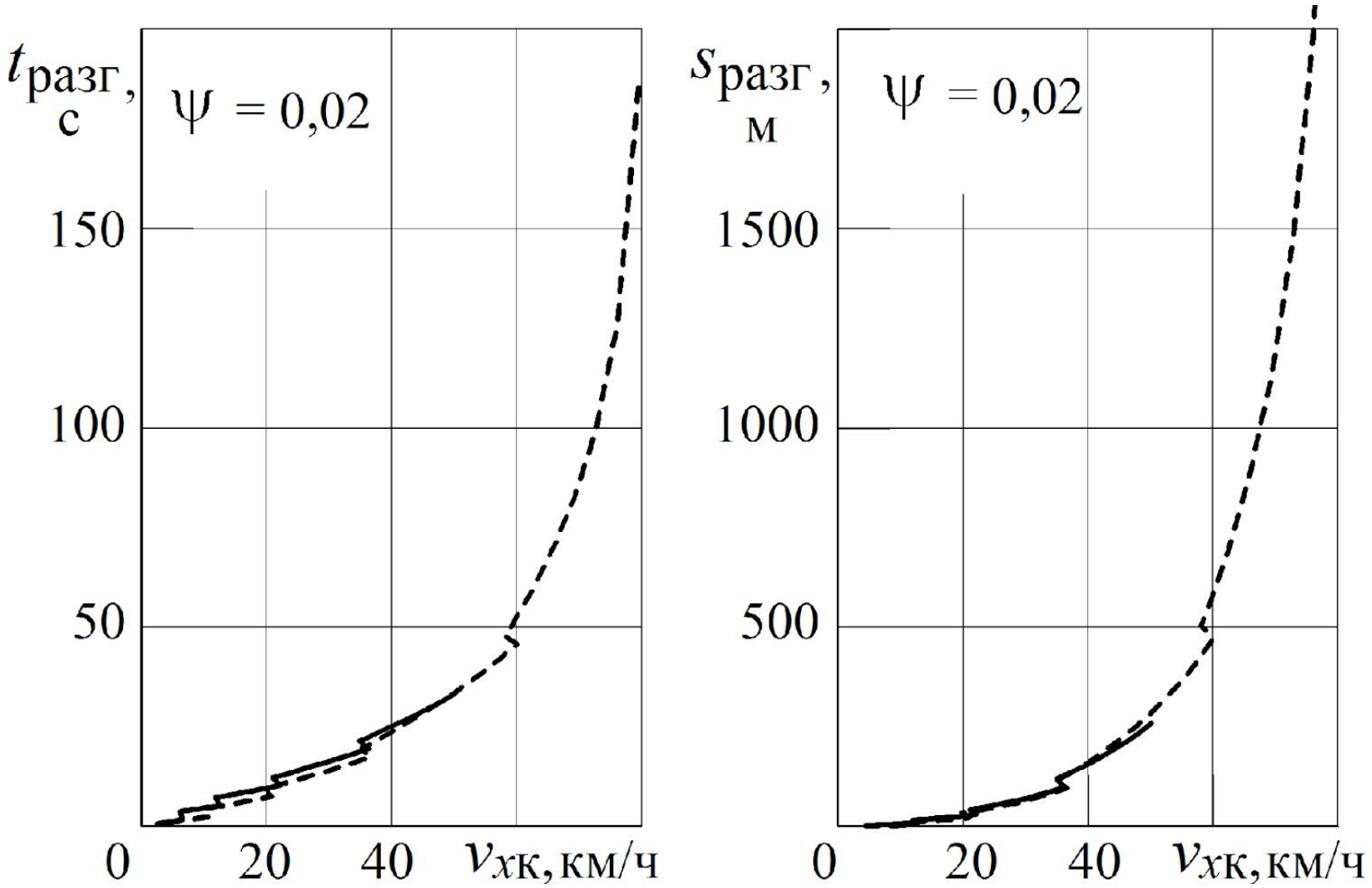
Путь, проходимый КМ за время переключения

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

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

Разгон осуществляется до значения $\boldsymbol{a}_{\text{мх}} = 0$.

Время и путь разгона КМ



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