

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Тяговый баланс трактора и автомобиля

ВОПРОСЫ

1. Уравнение тягового баланса
2. Силы и моменты, действующие на колесную машину
3. Силы сопротивления качению и подъему
4. Сила инерции
5. Сила сопротивления воздуха
6. Тяговое усилие

Уравнение тягового баланса

Уравнение тягового баланса показывает **соотношение** между **движущими силами** и **силами сопротивления движению**

В левой части уравнения располагаются движущие силы, в правой – силы сопротивления движению

$$P_k = P_f + P_\alpha + P_j + P_v + P_{кр}$$

Движущей силой является **касательная сила тяги P_k**

Силами сопротивления движению являются:

сила сопротивления качению P_f

сила сопротивления подъему P_α

сила инерции P_j

сила сопротивления воздуха P_v

тяговое усилие $P_{кр}$

$$P_k = P_f + P_\alpha + P_j + P_v + P_{кр}$$

Значимость уравнения тягового баланса

Уравнение тягового баланса позволяет:

1. Определить силу, необходимую для движения в заданных условиях
2. Определить наилучшие условия движения по поверхности
3. Определить максимальные углы подъема, преодолеваемые машиной
4. Оценить разгонные качества автомобиля
5. Определить максимальную скорость движения автомобиля
6. Оценить тяговые качества трактора

Силы сопротивления качению и подъему

Сила сопротивления качению складывается из сопротивления качению передних и задних колес

$$M_{fп} = Y_{п} a_{п}$$

$$M_{fk} = Y_{к} a_{к}$$

$$f = \frac{a_{п}}{r_{п}} = \frac{a_{к}}{r_{к}}$$

$$P_f = \frac{M_{fп}}{r_{п}} + \frac{M_{fk}}{r_{к}} = \frac{a_{п} Y_{п}}{r_{п}} + \frac{a_{к} Y_{к}}{r_{к}}$$

$$P_f = f(Y_{п} + Y_{к})$$

для трактора $P_f \approx fG$

для автомобиля $P_f \approx fG \cos \alpha$

Сила сопротивления подъему

$$P_{\alpha} = G \sin \alpha$$

При рассмотрении тягового баланса автомобиля силы **сопротивления качению и подъему** объединяют в **силу дорожного сопротивления**

$$P_{\psi} = P_f + P_{\alpha}$$

$$P_{\psi} = f G \cos \alpha + G \sin \alpha = (f \cos \alpha + \sin \alpha) G = \psi_{\text{пр}} G$$

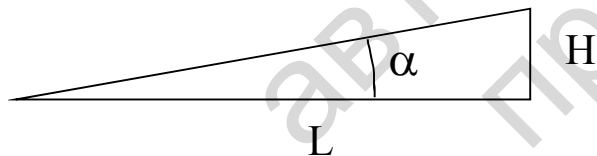
$\psi_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент дорожного сопротивления

$$\psi_{\text{пр}} = f \cos \alpha + \sin \alpha$$

для $\alpha \leq 0,1$ рад ($\approx 6^\circ$) $\cos \alpha \approx 1$ $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$

тогда
$$\psi_{\text{пр}} \approx f + \text{tg } \alpha = f \pm i$$

i – уклон дороги



$$i = \frac{H}{L} = \text{tg } \alpha$$



1.13
Крутой спуск



1.14
Крутой подъем

$$i = 0,12$$

Силы инерции

Сила инерции складывается из инерции **поступательно движущихся** масс и **вращающихся** масс

$$P_j = P_{j\text{пм}} + \frac{M_{jk}}{r_k} + \frac{M_{j\text{п}}}{r_{\text{п}}} \quad (1)$$

Сила инерции поступательно движущихся масс $P_{j\text{пм}} = m_j$ (2)

Момент инерции ведущих колес $M_{jk} = M_{j\text{дпр}} + M_{j\text{трпр}} + M_{j\text{о}}$ (3)

Приведенный момент инерции двигателя $M_{j\text{дпр}} = M_{jd} i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}$ (4)

Момент инерции двигателя

$$M_{jd} = I_d \varepsilon_d = I_d \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{d\omega_o}{dt} I_d i_{\text{тр}} = \frac{dv}{dt} \frac{I_d i_{\text{тр}}}{r_k} = j \frac{I_d i_{\text{тр}}}{r_k} \quad (5)$$

Угловое ускорение коленчатого вала двигателя $\varepsilon_d = \frac{d\omega_d}{dt}$

Угловая скорость коленчатого вала двигателя $\omega_d = \omega_o i_{\text{тр}}$

$\omega_o = \frac{v}{r_k}$ Угловая скорость ведущих колес

$j = \frac{dv}{dt}$ Линейное ускорение автомобиля

После подстановки (5) в (4)

$$M_{j_{дпр}} = j \frac{I_{д} i_{тр}^2 \eta_{тр}}{r_{к}} \quad (6)$$

По аналогии с (6)

Приведенный момент инерции трансмиссии

$$M_{j_{трпр}} = j \frac{\sum_{x=1}^n I_{x} i_{x}^2 \eta_{x}}{r_{к}} \quad (7)$$

Момент инерции задних колес $M_{j_{о}} = j \frac{I_{к}}{r_{к}} \quad (8)$

Момент инерции передних колес $M_{j_{п}} = j \frac{I_{п}}{r_{п}} \quad (9)$

После подстановки (6),(7),(8) в (3), затем (2),(3),(9) в (1)

$$P_j = mj + j \frac{I_{д} i_{тр}^2 \eta_{тр}}{r_{к}^2} + j \frac{\sum_{x=1}^n I_{x} i_{x}^2 \eta_{x}}{r_{к}^2} + j \frac{I_{к}}{r_{к}^2} + j \frac{I_{п}}{r_{п}^2} \quad (10)$$

$$P_j = m j \left[1 + \frac{I_{д} i_{тр}^2 \eta_{тр} + \sum_{x=1}^n I_{x} i_{x}^2 \eta_{x} + I_{к} + I_{п} \frac{r_{к}^2}{r_{п}^2}}{m r_{к}^2} \right] \quad (11)$$

$$P_j = m j \left[1 + \frac{I_d i_{тр}^2 \eta_{тр} + \sum_{x=1}^n I_x i_x^2 \eta_x + I_k + I_{\pi} \frac{r_k^2}{r_{\pi}^2}}{m r_k^2} \right]$$

Сила инерции

$$P_j = m j \delta_{вр}$$

$\delta_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс, который показывает, во сколько раз сила, необходимая для разгона автомобиля с заданным ускорением больше, чем сила, необходимая для разгона его массы

$$\delta_{вр} \approx 1 + \frac{I_d i_{тр}^2 \eta_{тр} + I_o}{m r_k^2}$$

I_o – момент инерции колес

$$I_o = I_k + I_{\pi} \frac{r_k^2}{r_{\pi}^2}$$

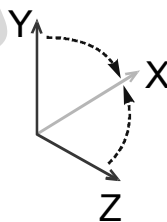
Коэффициент учета вращающихся масс:

1. Всегда больше единицы
2. Зависит от включенной передачи
3. Зависит от загрузки автомобиля

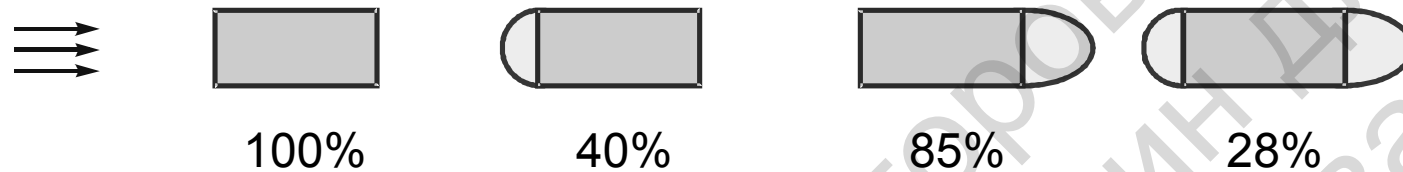
Силы сопротивления воздуха

Сопротивление воздуха складывается из следующих составляющих:

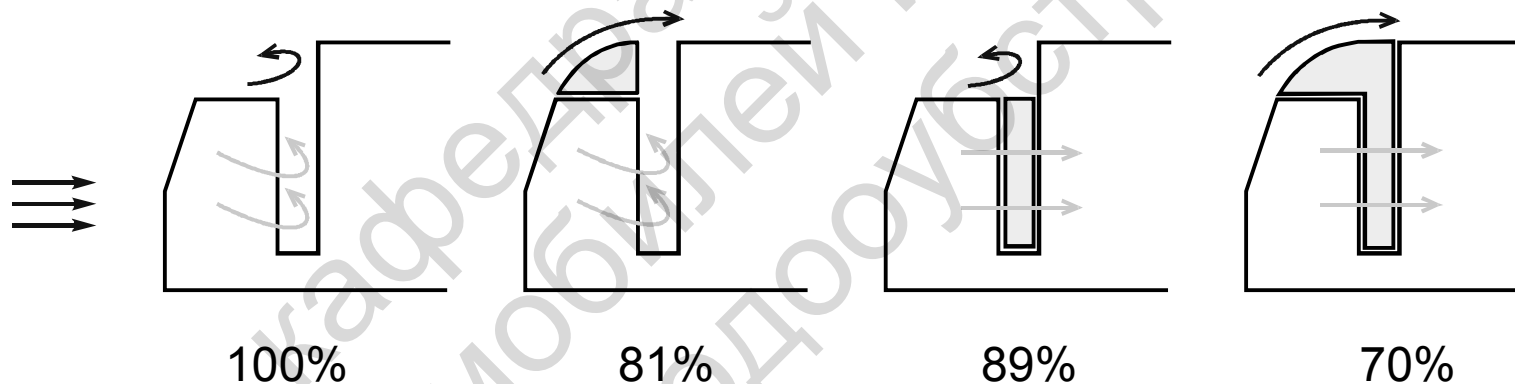
1. Лобовое сопротивление	} Сопротивление формы	50..60%
2. Завихрения воздуха		
3. Трение воздуха о поверхность		5..10%
4. Внутренние сопротивления		10..15%
5. Индуцируемое сопротивление		10..15%
6. Дополнительные сопротивления		до 15%



Влияние формы тела на сопротивление воздуха



Влияние формы обтекателей на сопротивление воздуха грузового автомобиля (фургона)



Полуприцеп увеличивает сопротивление воздуха на 10%,
прицеп – на 20..30%

Сила сопротивления воздуха зависит от коэффициента обтекаемости c_x , площади лобового сопротивления F и скоростного напора q

$$P_B = c_x F q$$

Скоростной напор равен кинетической энергии одного кубометра воздуха, движущегося со скоростью автомобиля

$$q = \frac{\rho_B v^2}{2}$$

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³
 v – скорость автомобиля, м/с

$$P_B = \frac{c_x \rho_B F v^2}{2}$$

Коэффициент сопротивления воздуха соответствует силе сопротивления воздуха, действующей на 1 м² площади лобового сопротивления автомобиля, движущегося с относительной скоростью 1 м/с

$$K = \frac{c_x \rho_B}{2}, \frac{H \cdot c^2}{M^4}$$

$$P_B = K F v^2$$

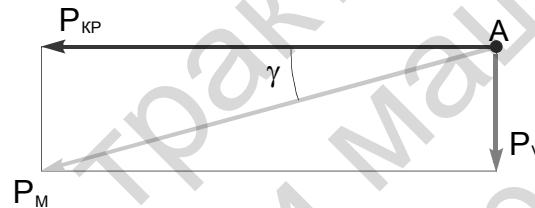
V (км/ч) = 3,6 v (м/с)

$$P_B = \frac{K F V^2}{13}, H$$

Тяговое усилие

Тяговое усилие $P_{кр}$ - горизонтальная составляющая силы сопротивления рабочей машины P_M , приложенная в [условной] точке прицепа

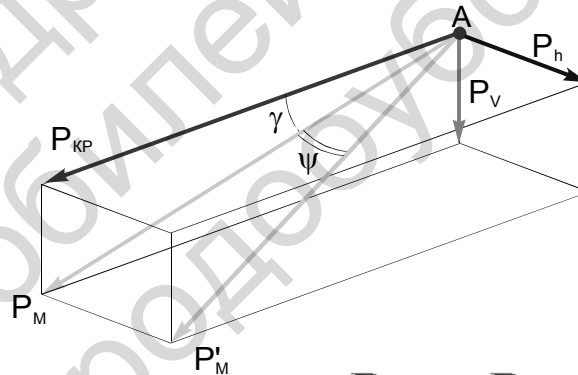
Прицепная машина (2D)



$$P_{кр} = P_M \cos \gamma$$

$$P_v = P_M \sin \gamma$$

Прицепная машина (3D)



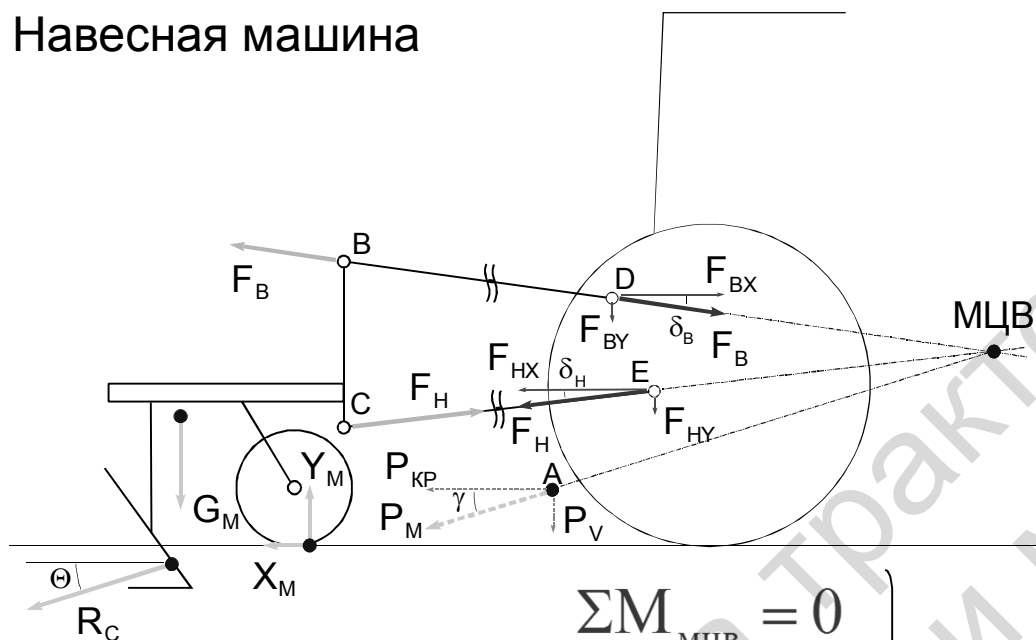
$$P_M = P'_M \cos \psi$$

$$P_h = P'_M \sin \psi$$

$$P_{кр} = P_M \cos \gamma = P'_M \cos \psi \cos \gamma$$

$$P_v = P_M \sin \gamma = P'_M \cos \psi \sin \gamma$$

Навесная машина



МЦВ – мгновенный центр вращения

G_M – сила тяжести навесной машины

R_C – сила сопротивления рабочих органов

X_M, Y_M – горизонтальная и вертикальная реакции на опорные колеса машины

F_B, F_H – усилия в верхней и нижних тягах навесного устройства

$$\sum M_{\text{МЦВ}} = 0$$

$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

$$X_M = f Y_M$$

$$\begin{cases} Y_M \\ F_B \\ F_H \end{cases}$$

$$\vec{P}_M = \vec{F}_B + \vec{F}_H$$

$$P_{\text{кр}} = P_M \cos \gamma$$

$$P_V = P_M \sin \gamma$$

$$F_{BY} = F_B \sin \delta_B$$

$$F_{BX} = F_B \cos \delta_B$$

$$F_{HX} = F_H \cos \delta_H$$

$$F_{HY} = F_H \sin \delta_H$$

$$P_{\text{кр}} = F_{BX} + F_{HX}$$

$$P_V = F_{BY} + F_{HY}$$

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Мощностной баланс трактора и автомобиля

ВОПРОСЫ

1. Уравнение мощностного баланса
2. Мощностной баланс трактора
3. Мощностной баланс автомобиля

Уравнение мощностного баланса

Уравнение мощностного баланса показывает, куда при движении расходуется мощность автотракторного двигателя

В левой части уравнения располагается эффективная **мощность двигателя**, **в правой** – **потребители** этой мощности

$$N_e = N_{\text{тр}} + N_f + N_{\alpha} + N_j + N_v + N_{\text{кр}} + N_{\text{б}} + N_{\text{ом}}$$

Потребителями мощности двигателя являются:

мощность потерь в трансмиссии $N_{\text{тр}}$

мощность сопротивления качению N_f

мощность сопротивления подъему N_{α}

мощность инерции N_j

мощность сопротивления воздуха N_v

тяговая мощность $N_{\text{кр}}$

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

мощность отбора мощности $N_{\text{ом}}$

Уравнению мощностного баланса соответствует уравнение тягового баланса

$$P_k = P_f + P_\alpha + P_j + P_v + P_{кр}$$

$$N_e = N_{тр} + N_f + N_\alpha + N_j + N_v + N_{кр} + N_\delta + N_{ом}$$

мощность потерь в трансмиссии

$$N_{тр} = (N_e - N_{ом})(1 - \eta_{тр})$$

если отсутствует отбор мощности

$$N_{тр} = N_e(1 - \eta_{тр})$$

мощность сопротивления качению

мощность сопротивления подъему

мощность сопротивления воздуха

мощность сил инерции

тяговая мощность

$$N_{f,\alpha,j,v,кр} = \frac{P_{f,\alpha,j,v,кр} \cdot V_d}{3,6}$$

кВт

кН км/ч

Например, $N_{кр} = \frac{P_{кр} \cdot V_d}{3,6}$

мощность, затрачиваемая на буксование

$$N_\delta = \frac{P_k \cdot V_T \cdot \delta}{3,6}$$

мощность отбора мощности

$$N_{ом} = N_{вОМ} + N_\Gamma + N_{пн} + N_\ominus$$

где $N_{вОМ}$ – механический, N_Γ – гидравлический, $N_{пн}$ – пневматический,

N_\ominus – электрический **отбор мощности**

$$N_e = N_{\text{тр}} + N_f + N_{\alpha} + N_j + N_v + N_{\text{кр}} + N_{\text{б}} + N_{\text{ом}}$$

Значимость уравнения мощностного баланса

Уравнение мощностного баланса позволяет:

1. Определить мощность, необходимую для движения в заданных условиях
2. Определить наилучшие условия движения по поверхности
3. Определить максимальные углы подъема, преодолеваемые машиной
4. Оценить разгонные качества автомобиля
5. Определить максимальную скорость движения автомобиля
6. Оценить тяговые качества трактора
7. Оценить сцепные качества трактора
8. Оценить возможность отбора мощности от двигателя внешним потребителям

Мощностной баланс трактора

При рассмотрении мощностного баланса трактора считают, что трактор движется по горизонтальной поверхности с постоянной малой скоростью без отбора мощности

$$\alpha=0 \rightarrow P_{\alpha}=0; N_{\alpha}=0$$

$$V \approx 0 \rightarrow P_B \approx 0; N_B \approx 0$$

$$V = \text{const} \rightarrow P_j = 0; N_j = 0$$

$$N_{\text{ом}} = 0$$

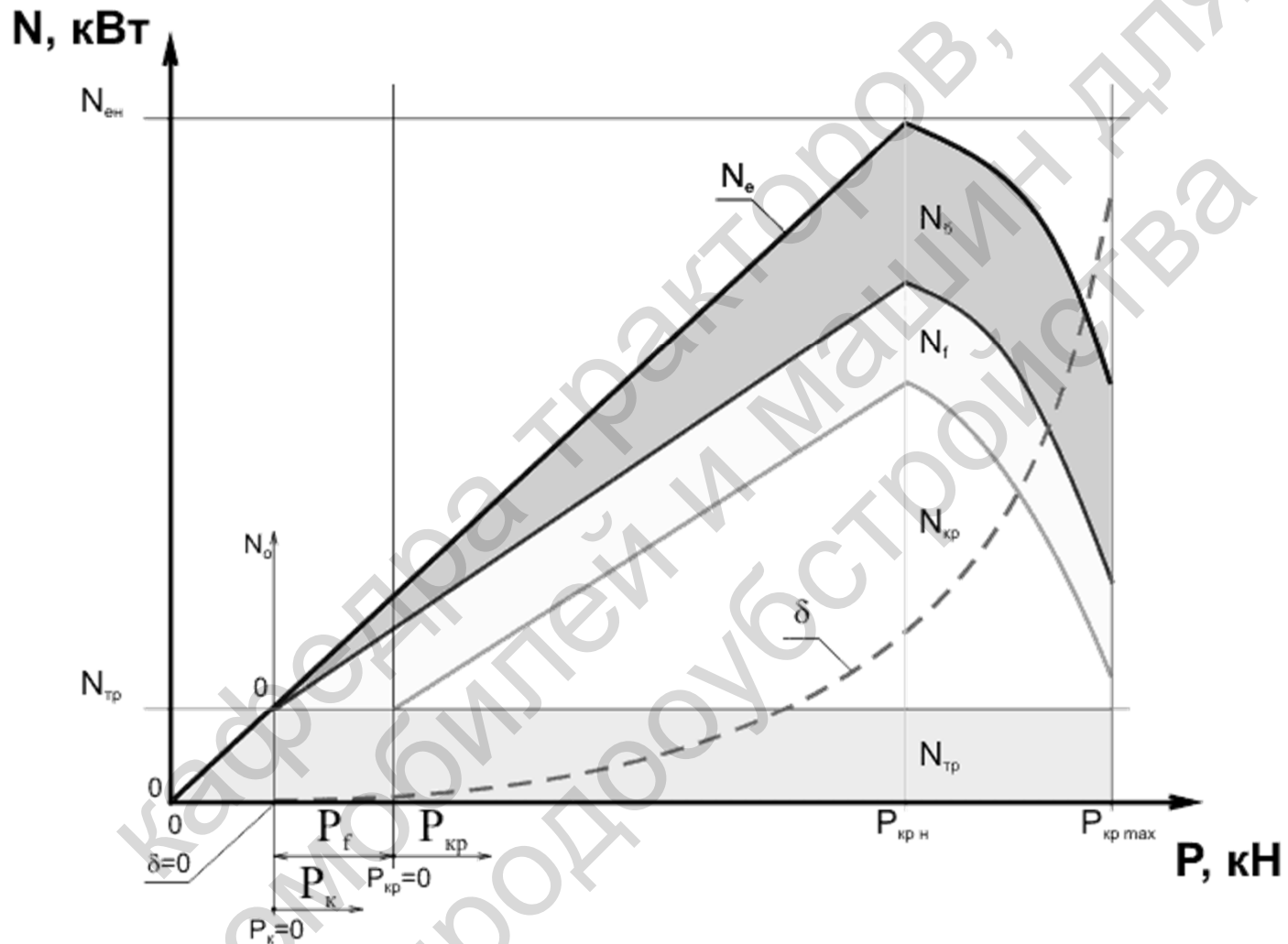
Таким образом, уравнение мощностного баланса трактора примет вид

$$N_e = N_{\text{тр}} + N_f + N_{\text{кр}} + N_b$$

Соответственно, уравнение тягового баланса трактора примет вид

$$P_k = P_f + P_{\text{кр}}$$

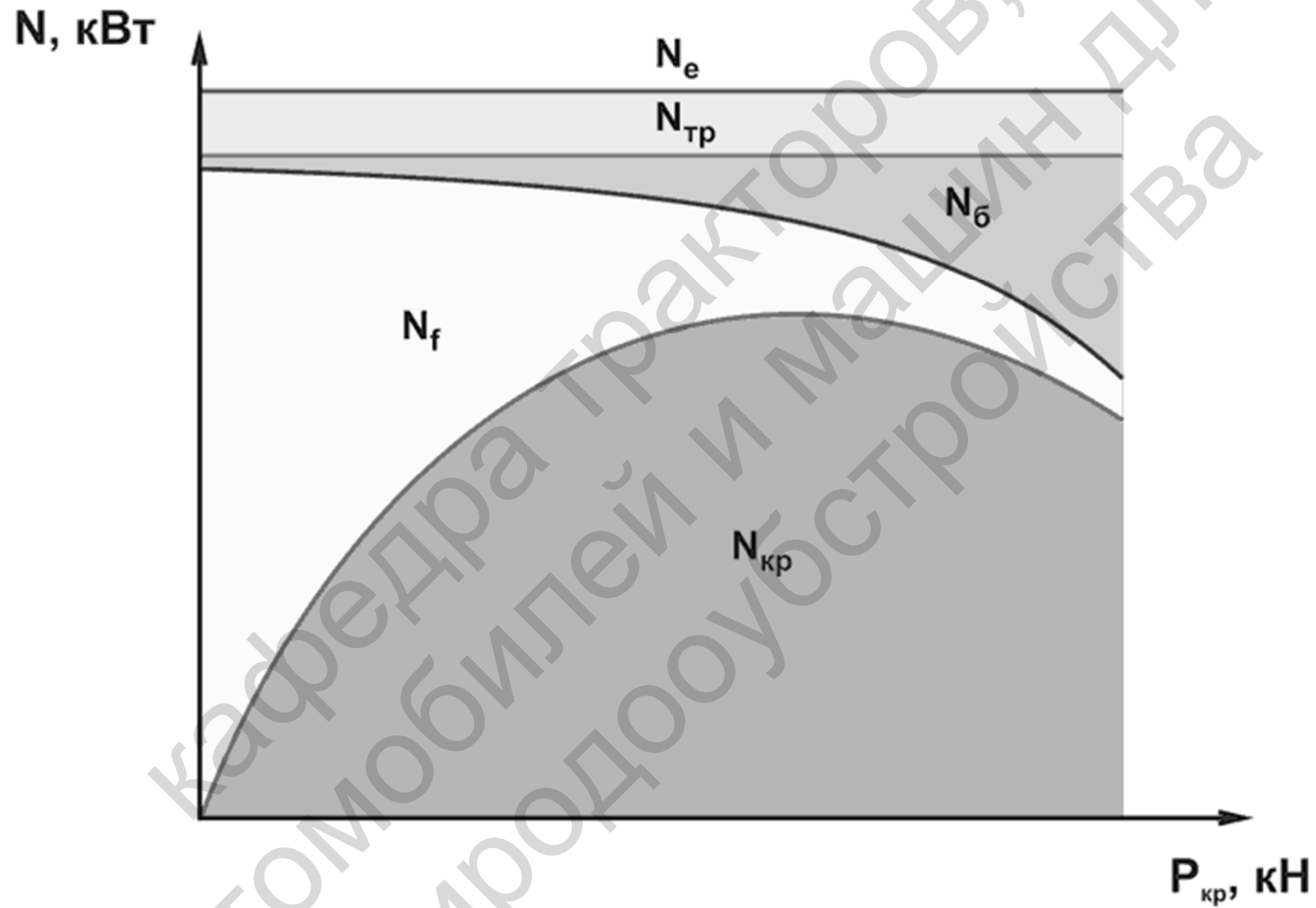
Построение графика мощностного баланса трактора



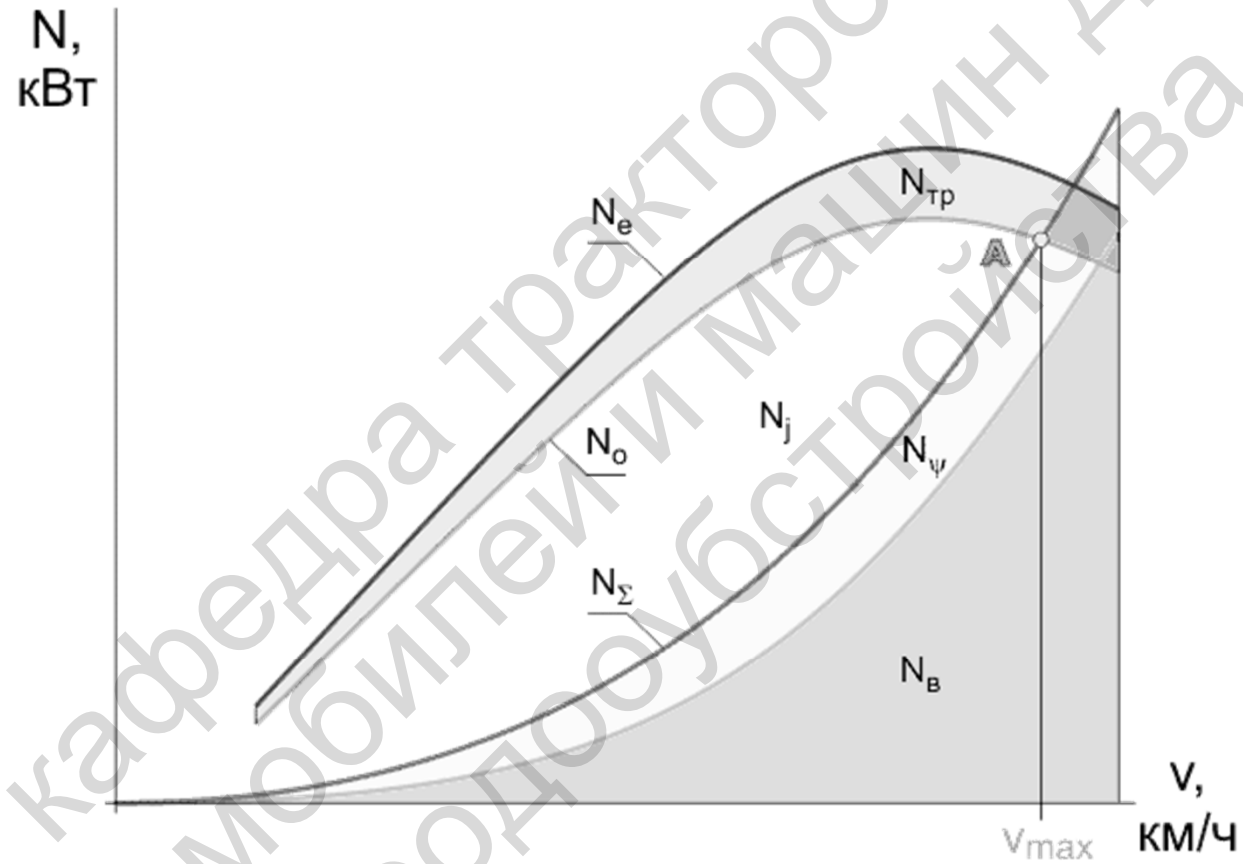
$$N_e = N_{тр} + N_b + N_f + N_{кр}$$

$$P_k = P_f + P_{кр}$$

Потенциальная тяговая характеристика трактора



Построение графика мощностного баланса автомобиля



$$N_o = N_e - N_{тр}$$

$$N_{\Sigma} = N_{\psi} + N_b$$

$$N_j = N_o - N_{\Sigma}$$

$$N_e = N_{тр} + N_{\psi} + N_b + N_j$$

$$P_k = P_{\psi} + P_b + P_j$$