

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Устойчивость тракторов и автомобилей

ВОПРОСЫ

1. Статическая устойчивость
2. Динамическая устойчивость
3. Устойчивость по сползанию
4. Устойчивость по управляемости
5. Устойчивость на повороте
6. Устойчивость тракторов с навесными машинами

Статическая устойчивость

Статическая устойчивость – способность заторможенного трактора (автомобиля) стоять на склоне без опрокидывания

Статическая устойчивость оценивается **предельными углами статической устойчивости**

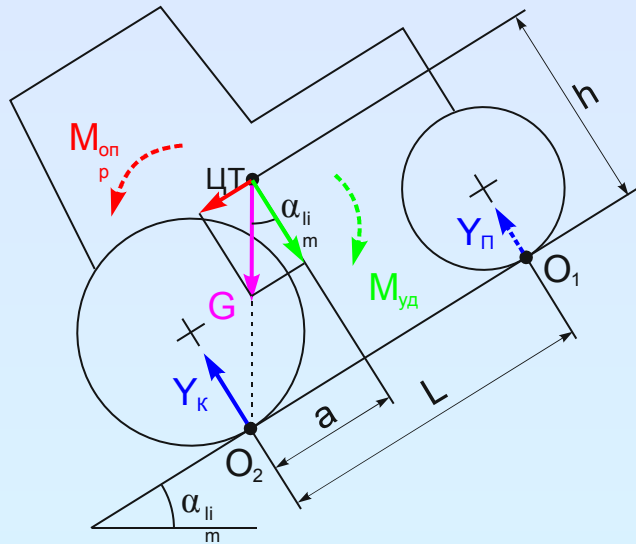
На подъеме

Предельный статический угол устойчивости **на подъеме** α_{lim} – максимальный угол подъема, на котором заторможенный трактор может стоять без опрокидывания

В граничном (предельном) состоянии **удерживающий момент** $M_{уд}$ равен **опрокидывающему моменту** $M_{опр}$

$$M_{уд} = M_{опр}$$

Колесная машина



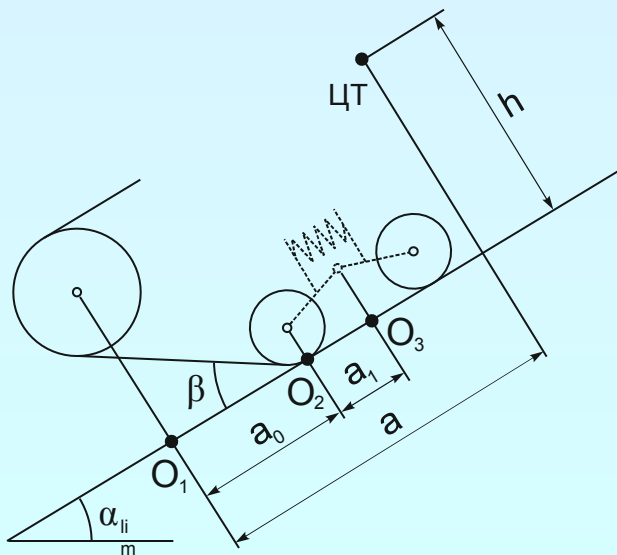
$$M_{уд} = G a \cos \alpha_{lim}$$

$$M_{опр} = G h \sin \alpha_{lim}$$

$$G a \cos \alpha_{lim} = G h \sin \alpha_{lim}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{lim} = \frac{a}{h}$$

Гусеничная машина



$$\beta < 4^\circ \quad \operatorname{tg} \alpha_{lim} = \frac{a}{h}$$

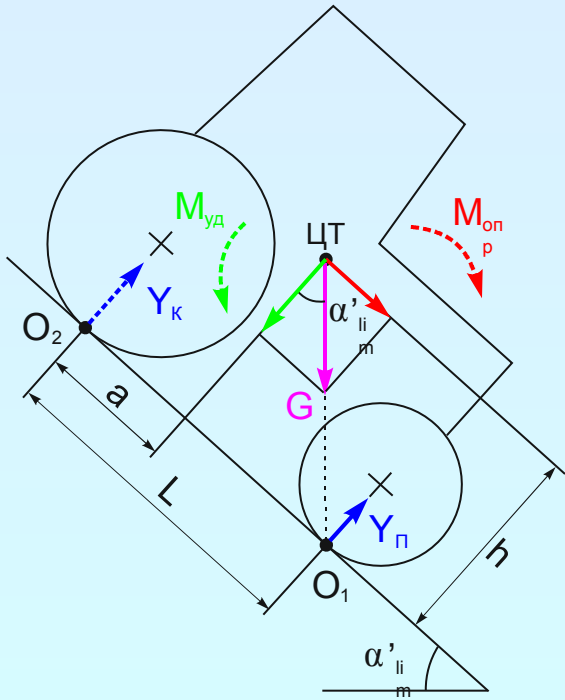
$$\beta > 4^\circ \quad \operatorname{tg} \alpha_{lim} = \frac{a - a_0}{h}$$

балансирная
подвеска

$$\operatorname{tg} \alpha_{lim} = \frac{a - a_0 - a_1}{h}$$

На спуске

Предельный статический угол устойчивости **на спуске** α'_{lim} – максимальный угол спуска, на котором заторможенный трактор может стоять без опрокидывания



$$M_{уд} = G(L - a) \cos \alpha'_{lim}$$

$$M_{опр} = Gh \sin \alpha'_{lim}$$

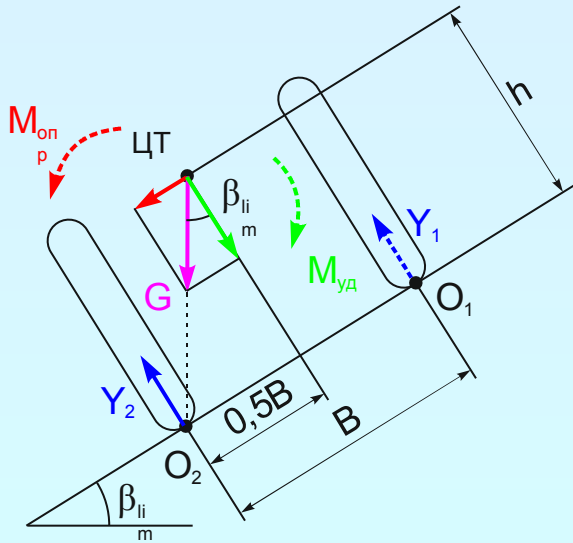
$$G(L - a) \cos \alpha'_{lim} = Gh \sin \alpha'_{lim}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_{lim} = \frac{L - a}{h}$$

На поперечном склоне

Предельный статический угол устойчивости **на поперечном склоне** β_{lim} – максимальный угол поперечного склона, на котором заторможенный трактор может стоять без опрокидывания

Колесная машина



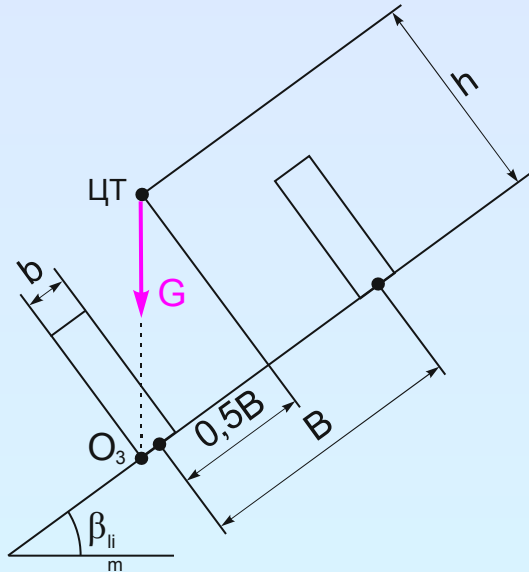
$$M_{\text{уд}} = G 0,5B \cos \beta_{\text{lim}}$$

$$M_{\text{опр}} = G h \sin \beta_{\text{lim}}$$

$$G 0,5B \cos \beta_{\text{lim}} = G h \sin \beta_{\text{lim}}$$

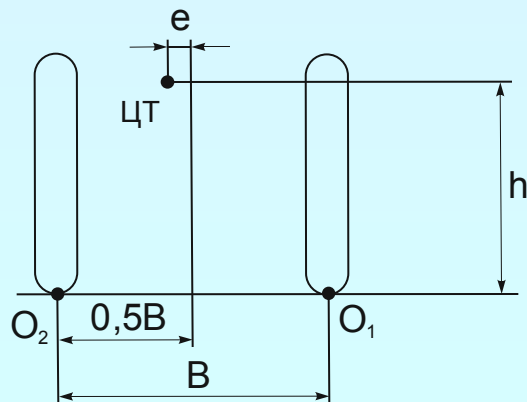
$$\text{tg} \beta_{\text{lim}} = \frac{0,5B}{h}$$

Гусеничная машина



$$\operatorname{tg}\beta_{\lim} = \frac{0,5(B + b)}{h}$$

Колесная машина с поперечным смещением центра тяжести



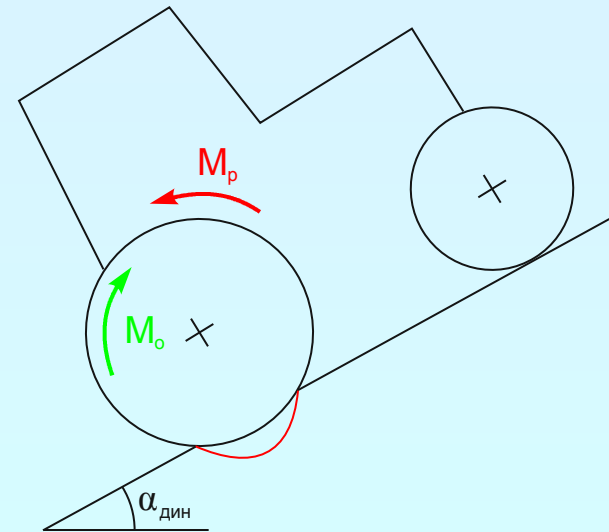
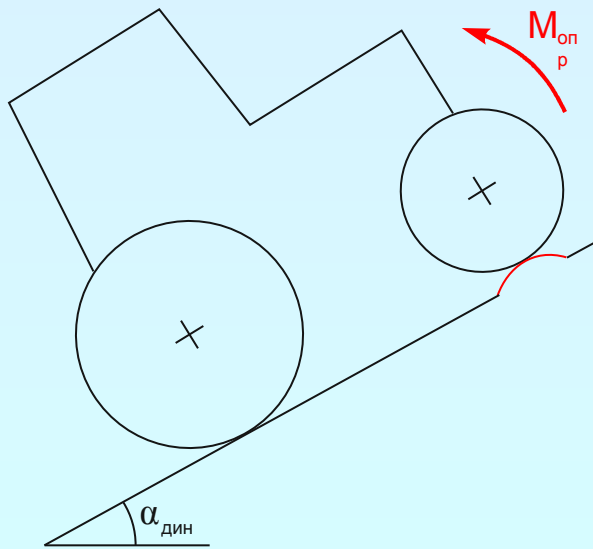
$$\operatorname{tg}\beta_{\lim} = \frac{0,5B \pm e}{h}$$

Динамическая устойчивость

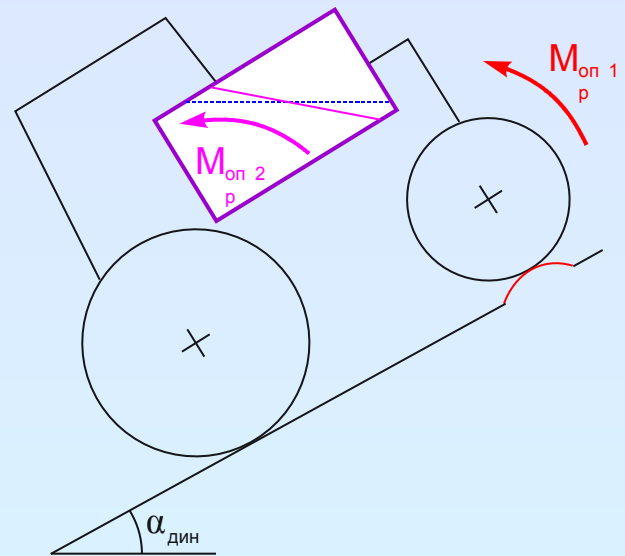
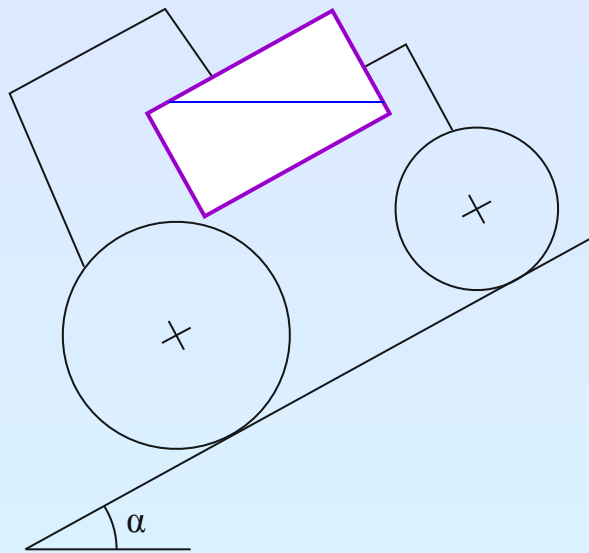
Динамическая устойчивость – способность трактора (автомобиля) **двигаться** на склоне без опрокидывания

Динамическая устойчивость оценивается **предельными углами динамической устойчивости**

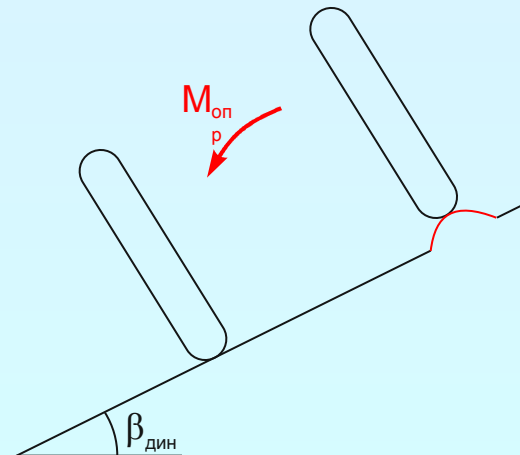
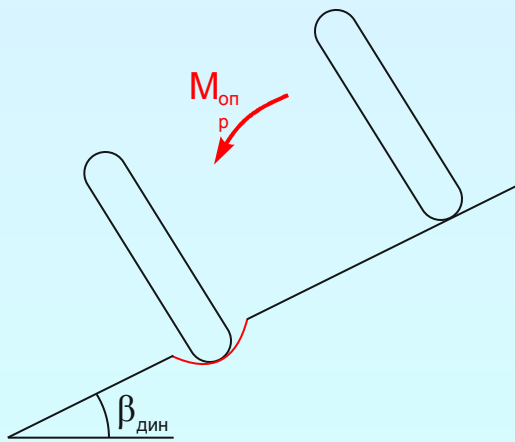
На подъеме



$$\alpha_{дин} \approx 0,5\alpha_{lim}$$



На поперечном склоне

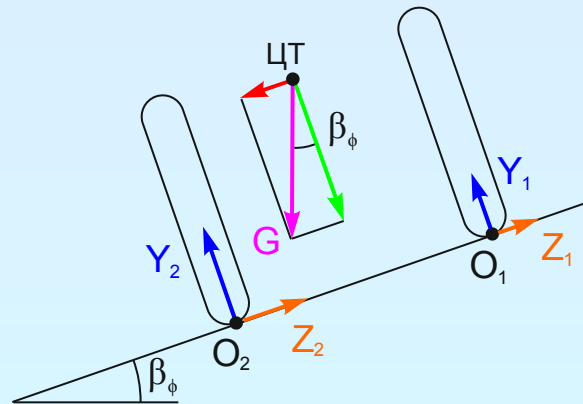


$$\beta_{\text{дин}} = (0,4 \dots 0,6) \beta_{\text{лим}}$$

Устойчивость по сползанию

Устойчивость по сползанию – способность трактора (автомобиля) стоять на склоне без сползания

Устойчивость по сползанию оценивается **предельными углами устойчивости по сползанию**



$$Z_1 + Z_2 = \varphi Y_1 + \varphi Y_2 = \varphi(Y_1 + Y_2) = \varphi G \cos \beta_\varphi$$

φ – коэффициент сцепления

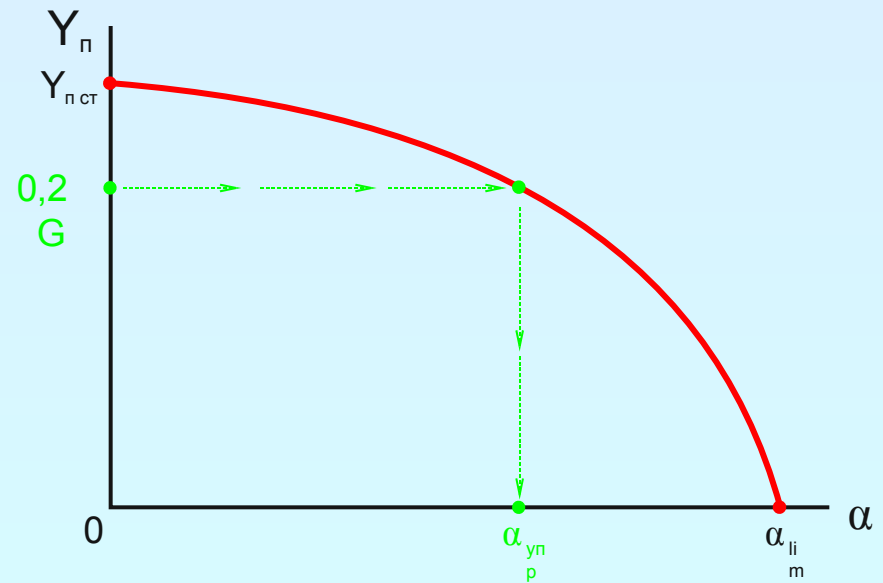
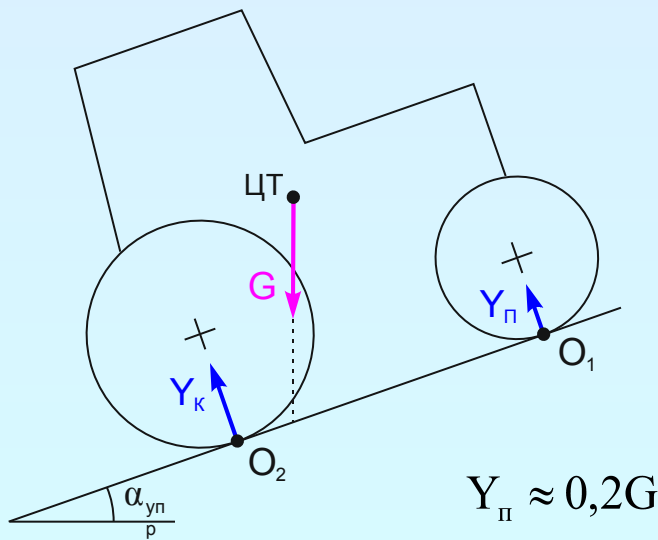
$$\varphi G \cos \beta_\varphi = G \sin \beta_\varphi$$

$$\operatorname{tg} \beta_\varphi = \varphi$$

Устойчивость по управляемости

Устойчивость по управляемости – способность трактора (автомобиля) сохранять управляемость при движении на склонах

Устойчивость по управляемости оценивается **предельными углами устойчивости по управляемости**



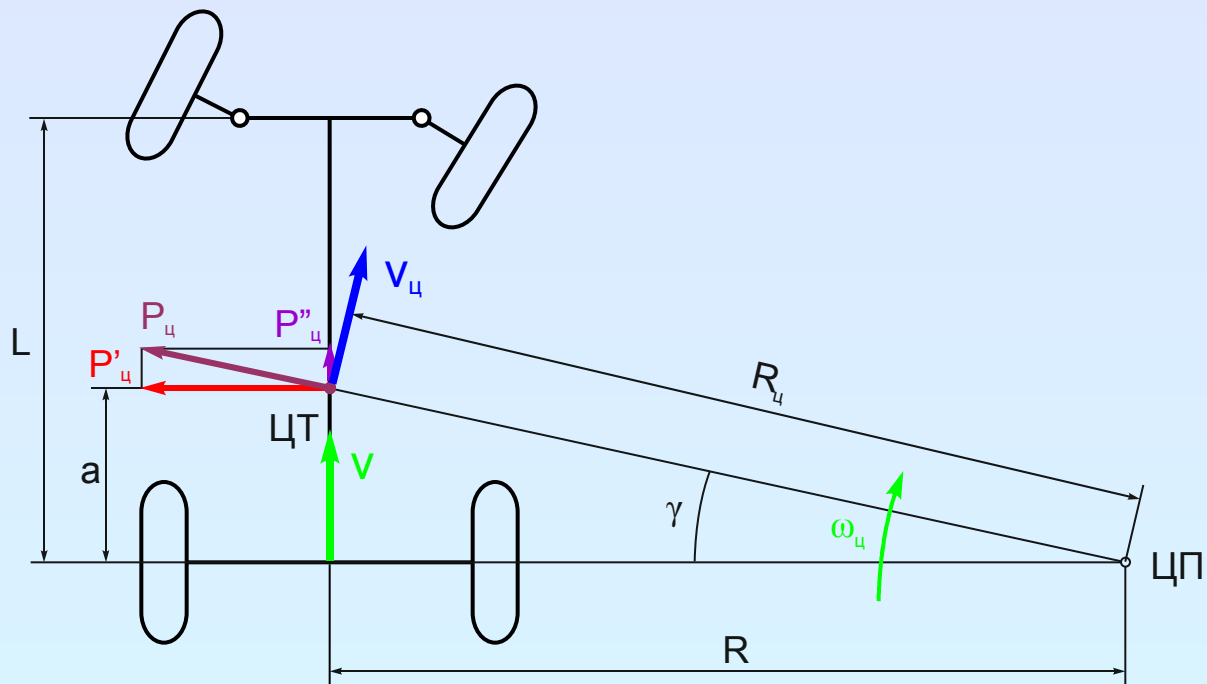
$$\alpha_{упр} = \alpha_{lim} - (20...25)^{\circ}$$

Устойчивость на повороте

Устойчивость на повороте – способность автомобиля (трактора) двигаться на повороте без опрокидывания или заноса

Устойчивость по управляемости оценивается **минимальным радиусом поворота при движении с заданной скоростью (R_{\min})** или **максимальной скоростью движения на повороте с заданным радиусом (V_{\max})**

Опрокидывание или занос автомобиля происходит под действием **поперечной составляющей центробежной силы**



Центробежная сила

$$P_{\text{ц}} = \frac{mv_{\text{ц}}^2}{R_{\text{ц}}}$$

Поперечная составляющая
центробежной силы

$$P'_{\text{ц}} = P_{\text{ц}} \cos \gamma = \frac{mv_{\text{ц}}^2 \cos \gamma}{R_{\text{ц}}}$$

Скорость центра тяжести

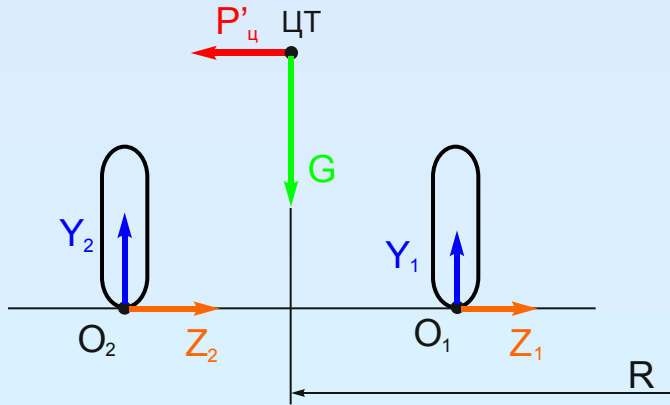
$$v_{\text{ц}} = \frac{v}{\cos \gamma}$$

Радиус поворота
центра тяжести

$$R_{\text{ц}} = \frac{R}{\cos \gamma}$$

$$P'_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R}$$

Занос



$$Z_1 + Z_2 = \varphi(Y_1 + Y_2) = \varphi G = \varphi m g$$

$$\varphi m g = P'_{\text{ц}} = \frac{m v^2}{R}$$

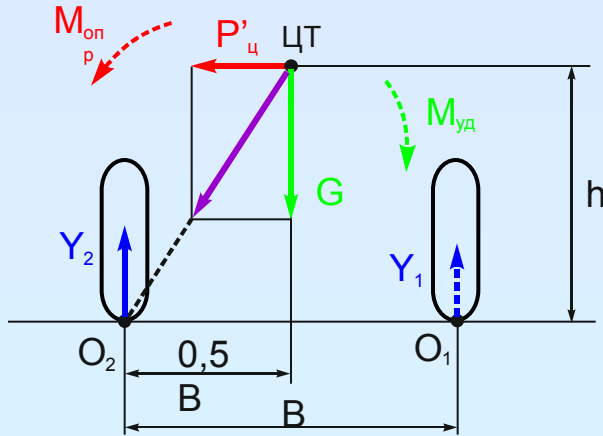
$$R_{\min} = \frac{v^2}{g \varphi} = \frac{v^2}{g \operatorname{tg} \beta_{\varphi}} \quad (v, \text{ м/с})$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{13 g \operatorname{tg} \beta_{\varphi}} \quad (V, \text{ км/ч})$$

$$V_{\max} = \sqrt{g R \varphi} = \sqrt{g R \operatorname{tg} \beta_{\varphi}}, \text{ м/с}$$

$$V_{\max} = 3,6 \sqrt{g R \operatorname{tg} \beta_{\varphi}}, \text{ км/ч}$$

Опрокидывание



$$M_{уд} = G \cdot 0,5B = mg \cdot 0,5B$$

$$M_{опр} = P'_ц \cdot h = \frac{mv^2 h}{R}$$

$$mg \cdot 0,5B = \frac{mv^2 h}{R}$$

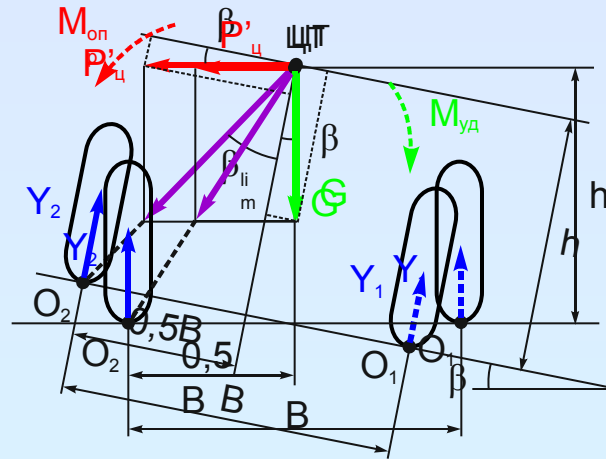
$$R_{\min} = \frac{v^2 h}{g \cdot 0,5B} = \frac{v^2}{g \cdot \operatorname{tg} \beta_{\lim}} \quad (v, \text{ м/с})$$

$$R_{\min} = \frac{V^2}{13g \cdot \operatorname{tg} \beta_{\lim}} \quad (V, \text{ км/ч})$$

$$V_{\max} = \sqrt{g R \operatorname{tg} \beta_{\lim}}, \text{ м/с}$$

$$V_{\max} = 3,6 \sqrt{g R \operatorname{tg} \beta_{\lim}}, \text{ км/ч}$$

Опрокидывание на повороте с поперечным уклоном



$$P'_{ц} = \frac{mv^2}{R}$$

$$\Sigma M_{O_2} = P'_{ц} 0,5B \sin \beta - P'_{ц} h \cos \beta + G 0,5B \cos \beta + Gh \sin \beta = 0$$

$$P'_{ц} (h \cos \beta - 0,5B \sin \beta) = G(0,5B \cos \beta + h \sin \beta)$$

$$\frac{mv^2}{R} (h \cos \beta - 0,5B \sin \beta) = mg(0,5B \cos \beta + h \sin \beta)$$

разделим обе части на $mh \cos \beta$

$$\frac{v^2}{R} \left(1 - \frac{0,5B}{h} \operatorname{tg} \beta\right) = g \left(\frac{0,5B}{h} + \operatorname{tg} \beta\right)$$

$$\operatorname{tg}\beta_{\text{lim}} = \frac{0,5B}{h}$$

$$\operatorname{tg}(\beta_{\text{lim}} + \beta) = \frac{\operatorname{tg}\beta_{\text{lim}} + \operatorname{tg}\beta}{1 - \operatorname{tg}\beta_{\text{lim}} \operatorname{tg}\beta}$$

$$V_{\text{max}} = \sqrt{gR \frac{\operatorname{tg}\beta_{\text{lim}} + \operatorname{tg}\beta}{1 - \operatorname{tg}\beta_{\text{lim}} \operatorname{tg}\beta}} = \sqrt{gR \operatorname{tg}(\beta_{\text{lim}} + \beta)}, \text{ м/с}$$

$$V_{\text{max}} = 3,6 \sqrt{gR \operatorname{tg}(\beta_{\text{lim}} + \beta)}, \text{ км/ч}$$

отрицательный
уклон

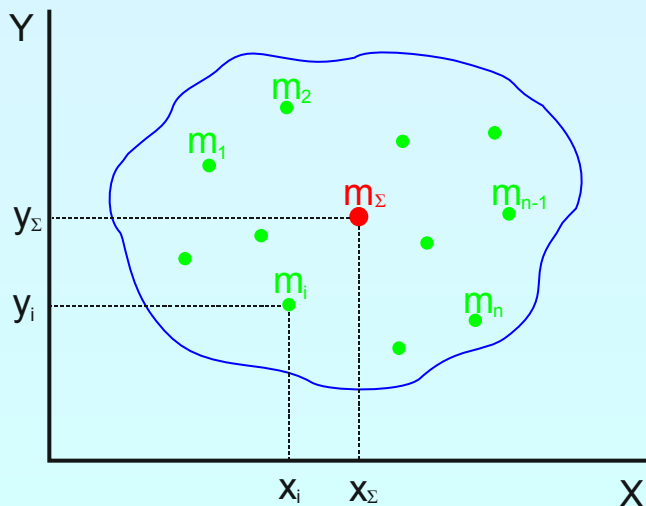
$$V_{\text{max}} = 3,6 \sqrt{gR \operatorname{tg}(\beta_{\text{lim}} - \beta)}, \text{ км/ч}$$

Устойчивость тракторов с навесными машинами

Статическая устойчивость трактора с навесными машинами оценивается **предельными углами статической устойчивости**, определяемыми через координаты центра тяжести агрегата

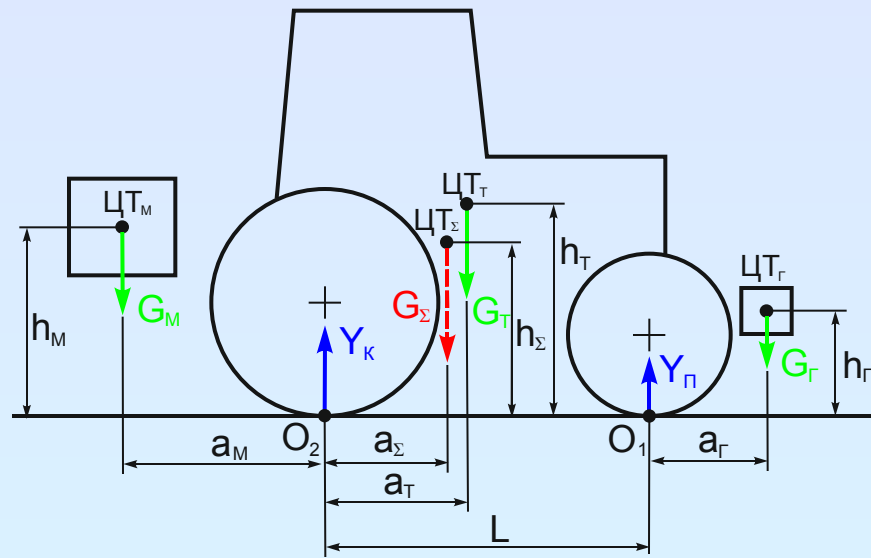
Предельный статический угол устойчивости агрегата **на подъеме**

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{lim}} = \frac{a_{\Sigma}}{h_{\Sigma}}$$



$$x_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$y_{\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$



$$a_{\Sigma} = \frac{m_T a_T - m_M a_M + m_{\Gamma} (L + a_{\Gamma})}{m_T + m_M + m_{\Gamma}}$$

$$h_{\Sigma} = \frac{m_T h_T + m_M h_M + m_{\Gamma} h_{\Gamma}}{m_T + m_M + m_{\Gamma}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\lim} = \frac{a_{\Sigma}}{h_{\Sigma}} = \frac{m_T a_T - m_M a_M + m_{\Gamma} (L + a_{\Gamma})}{m_T h_T + m_M h_M + m_{\Gamma} h_{\Gamma}}$$

Масса противовеса $m_{\Gamma} \approx m_M \frac{a_M}{L + a_{\Gamma}}$