

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**

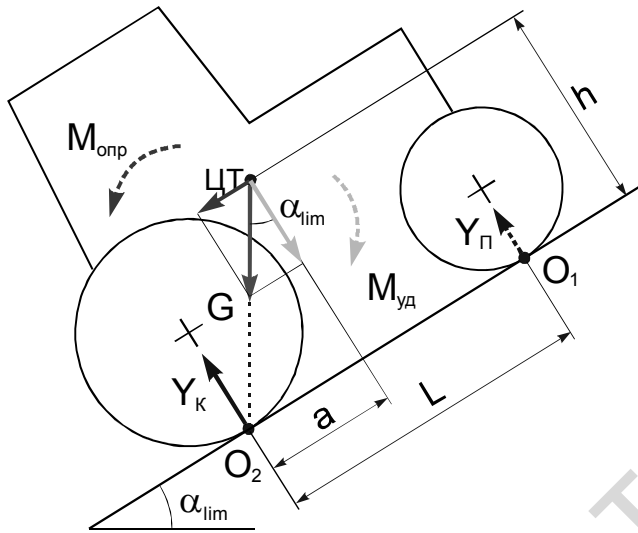
На подъеме

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



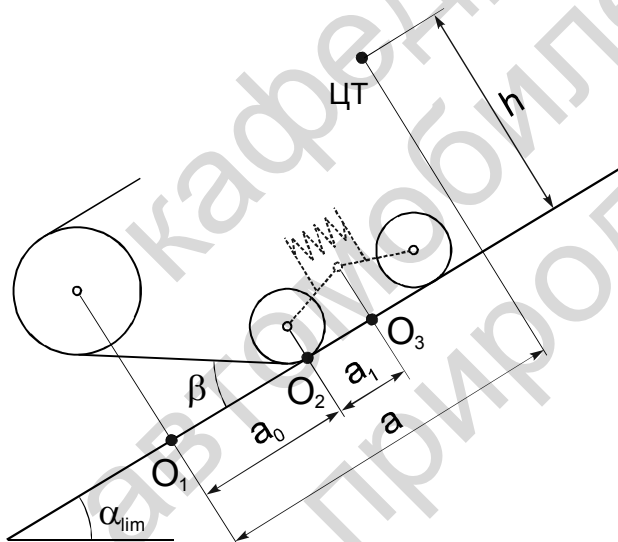
$$M_{уд} = G a \cos \alpha_{lim}$$

$$M_{опр} = G h \sin \alpha_{lim}$$

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

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

Гусеничная машина



$$\beta < 4^\circ$$

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

$$\beta > 4^\circ$$

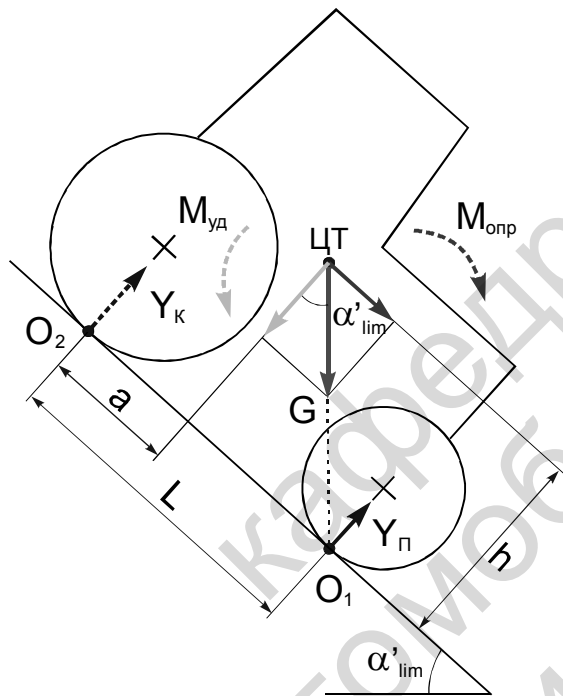
$$\operatorname{tg} \alpha_{lim} = \frac{a - a_0}{h}$$

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



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

$$M_{\text{опр}} = Gh \sin \alpha'_{\text{lim}}$$

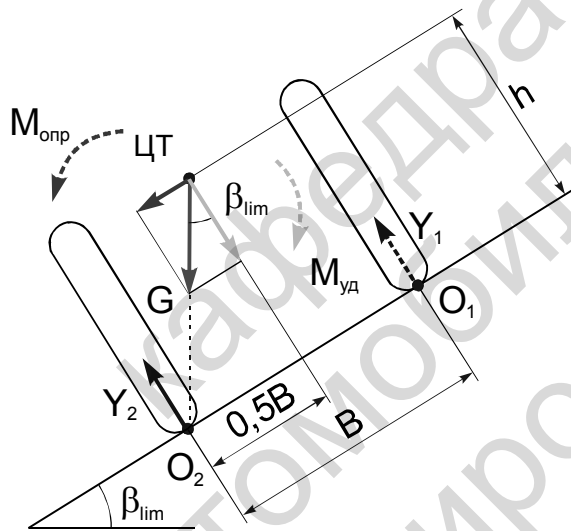
$$G(L - a) \cos \alpha'_{\text{lim}} = Gh \sin \alpha'_{\text{lim}}$$

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

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



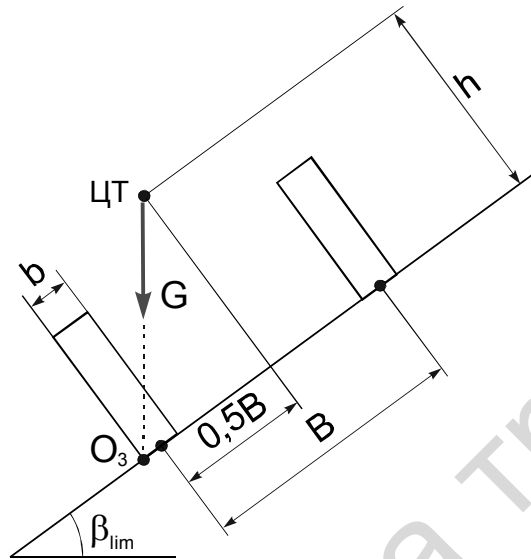
$$M_{уд} = G 0,5B \cos \beta_{lim}$$

$$M_{опр} = G h \sin \beta_{lim}$$

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

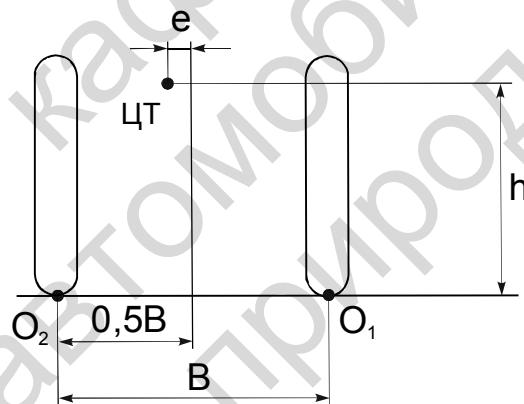
$$\operatorname{tg} \beta_{lim} = \frac{0,5B}{h}$$

Гусеничная машина



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

Колесная машина с поперечным смещением центра тяжести



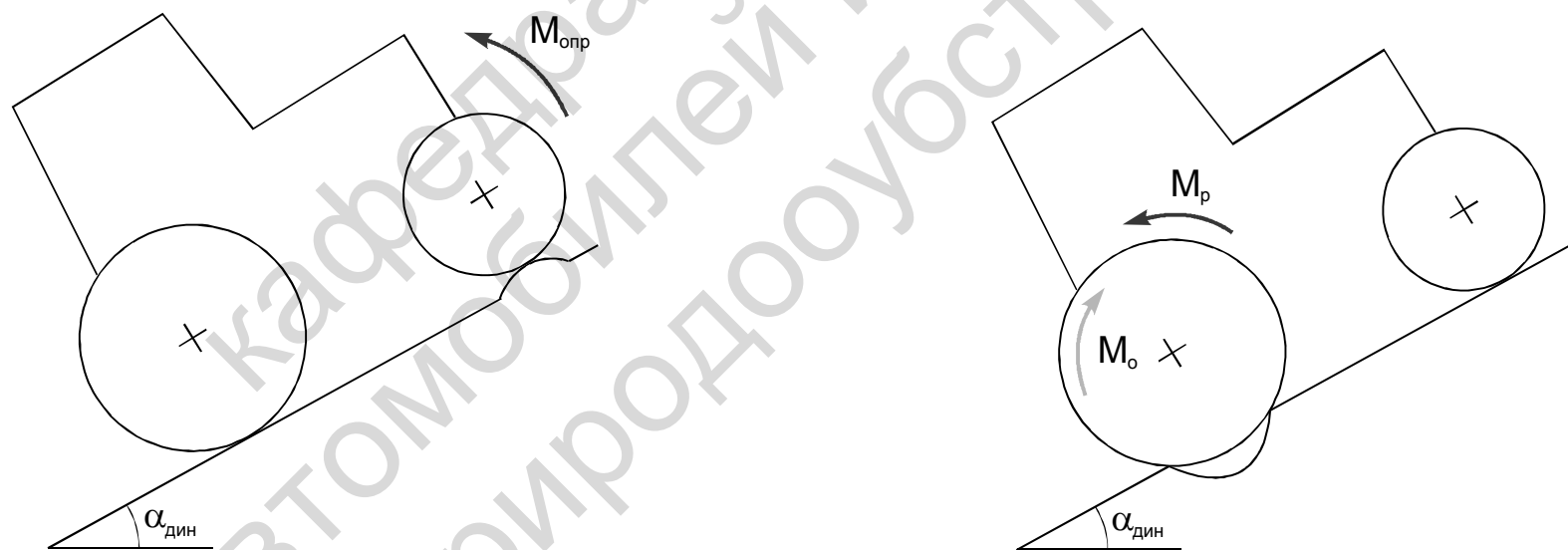
$$\operatorname{tg} \beta_{lim} = \frac{0,5B \pm e}{h}$$

Динамическая устойчивость

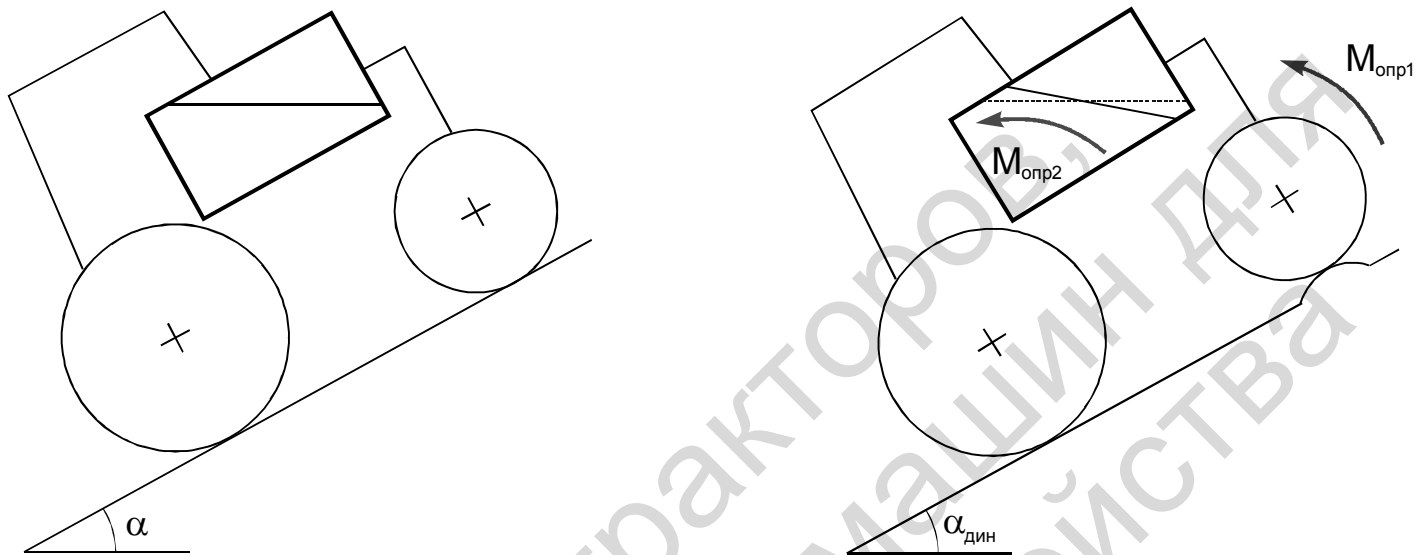
Динамическая устойчивость – способность трактора (автомобиля) **двигаться** на склоне без опрокидывания

Динамическая устойчивость оценивается **предельными углами динамической устойчивости**

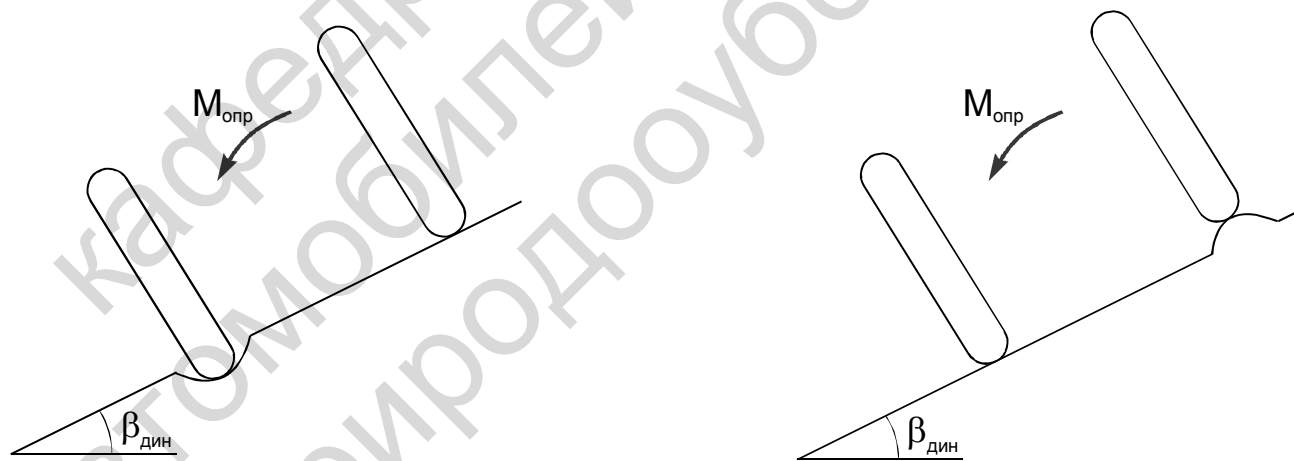
На подъеме



$$\alpha_{\text{дин}} \approx 0,5\alpha_{\text{лим}}$$



На поперечном склоне

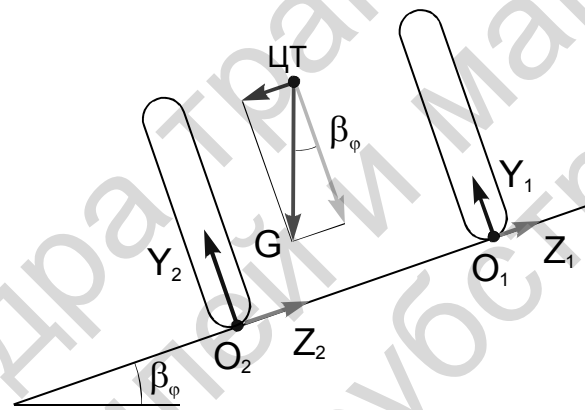


$$\beta_{\text{дин}} = (0,4 \dots 0,6) \beta_{\text{lim}}$$

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

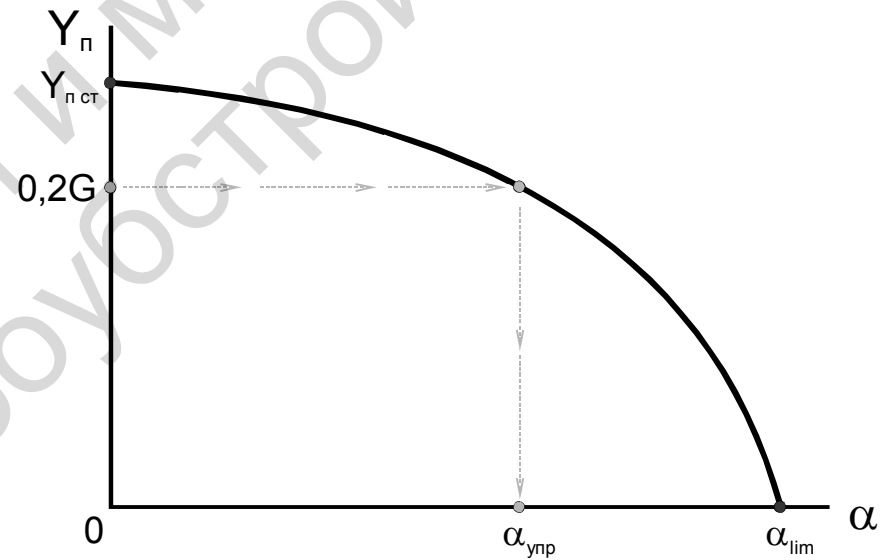
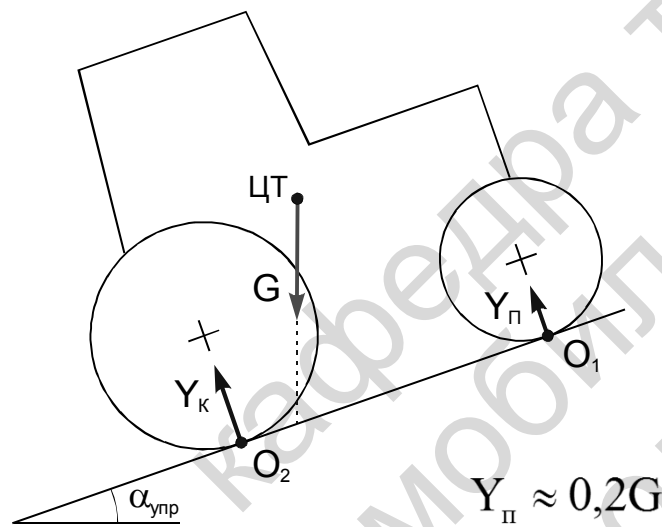
$$\varphi G \cos \beta_\varphi = G \sin \beta_\varphi$$

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

Устойчивость по управляемости

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

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



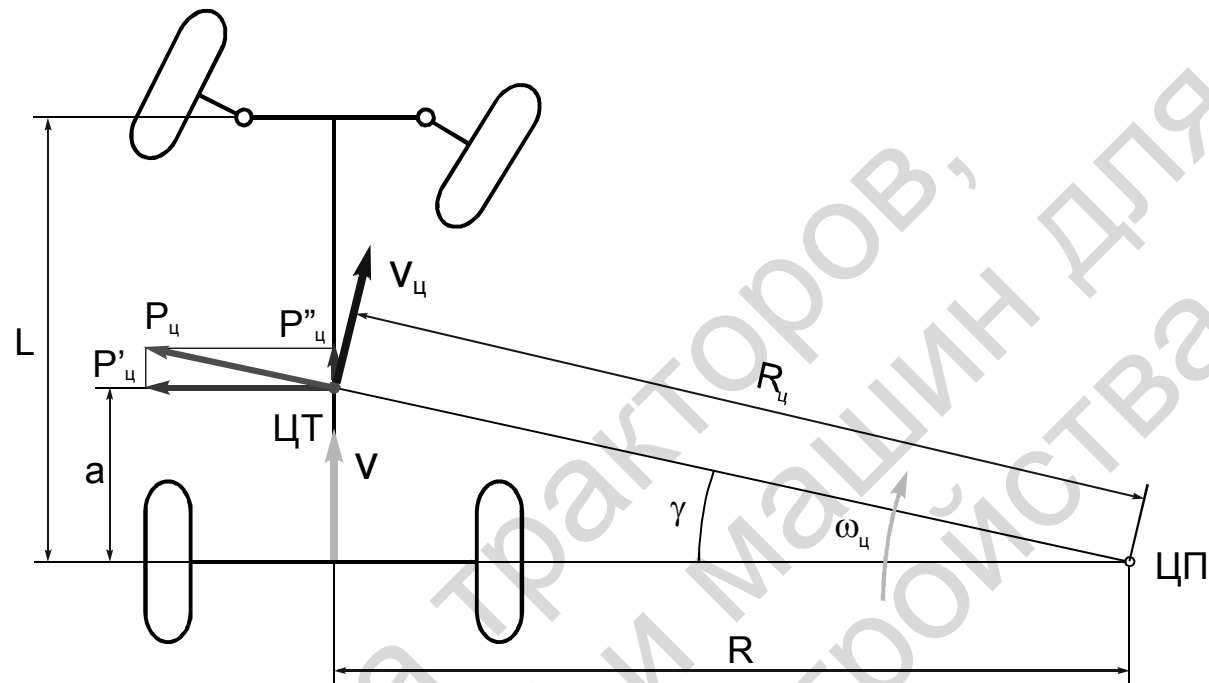
$$\alpha_{упр} = \alpha_{lim} - (20...25)^\circ$$

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

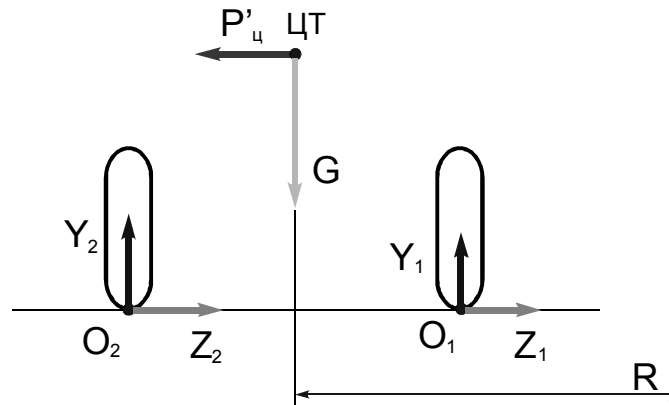
$$v_{\text{ц}} = \frac{v}{\cos \gamma}$$

Радиус поворота
центра тяжести

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

$$P'_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R}$$

Занос



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

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

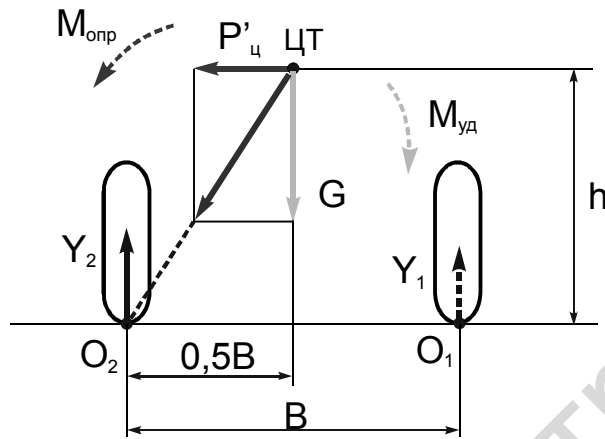
$$R_{\min} = \frac{v^2}{g \varphi} = \frac{v^2}{g \operatorname{tg} \beta_{\varphi}} \quad (v, \text{ м/с})$$

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

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

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

Опрокидывание



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

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

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

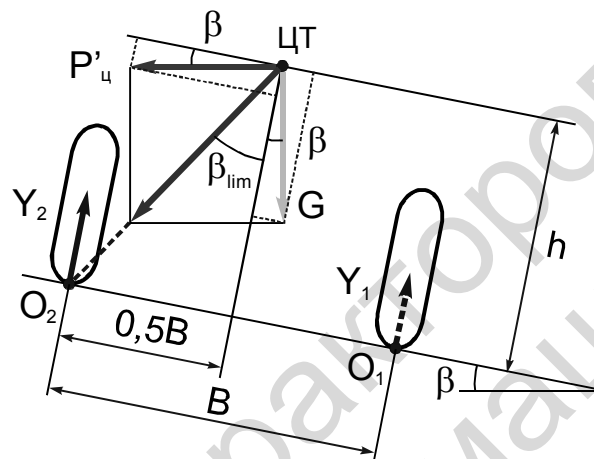
$$R_{min} = \frac{v^2 h}{g \cdot 0,5B} = \frac{v^2}{g \cdot \text{tg} \beta_{lim}} \quad (v, \text{М/с})$$

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

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

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

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 $m h \cos \beta$

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

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

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

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

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

отрицательный
уклон

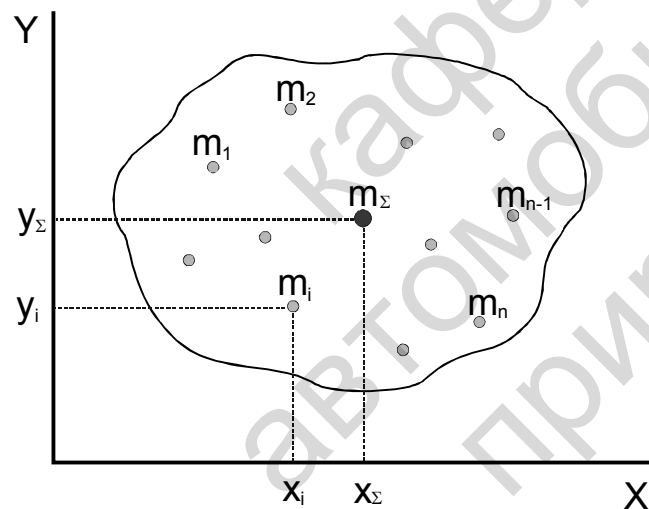
$$V_{\text{max}} = 3,6 \sqrt{gR \operatorname{tg}(\beta_{\text{lim}} - \beta)}, \text{ км / ч}$$

Устойчивость тракторов с навесными машинами

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

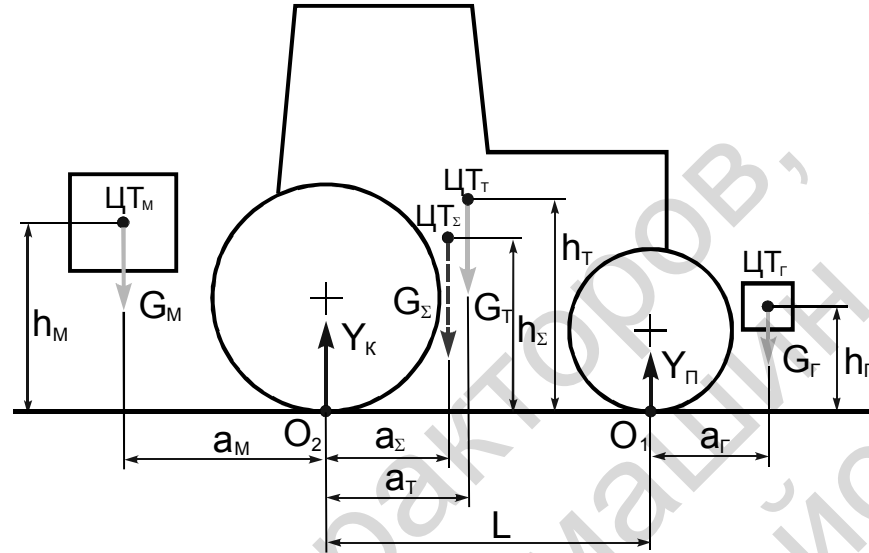
Предельный статический угол устойчивости агрегата **на подъеме**

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



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

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



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

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

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

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Проходимость тракторов и автомобилей

ВОПРОСЫ

1. Опорная проходимость
2. Профильная проходимость
3. Агротехническая проходимость

Опорная проходимость

Опорная проходимость – способность трактора двигаться по почвам с низкой несущей способностью

p_{cp} – среднее давление на почву, МПа

Объект	p_{cp} , МПа
Колесный трактор	0,02...0,07
Гусеничный трактор	0,02...0,05
Автомобиль	0,1...0,3
Болотоходная техника	<0,02
Снегоход	<0,01
Человек	0,04...0,06

p_{max} – максимальное давление на почву, МПа

Трактор	p_{cp} , МПа	p_{max} , МПа
T-150K	0,07	0,27
T-150	0,04	0,14
T-150 пневмогус.	0,04	0,08
T-130	0,04	0,09

$$\frac{l_K}{l_{3B}} > 1,7$$

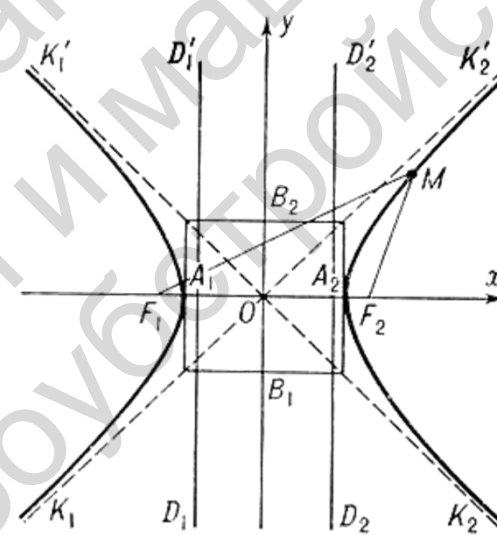
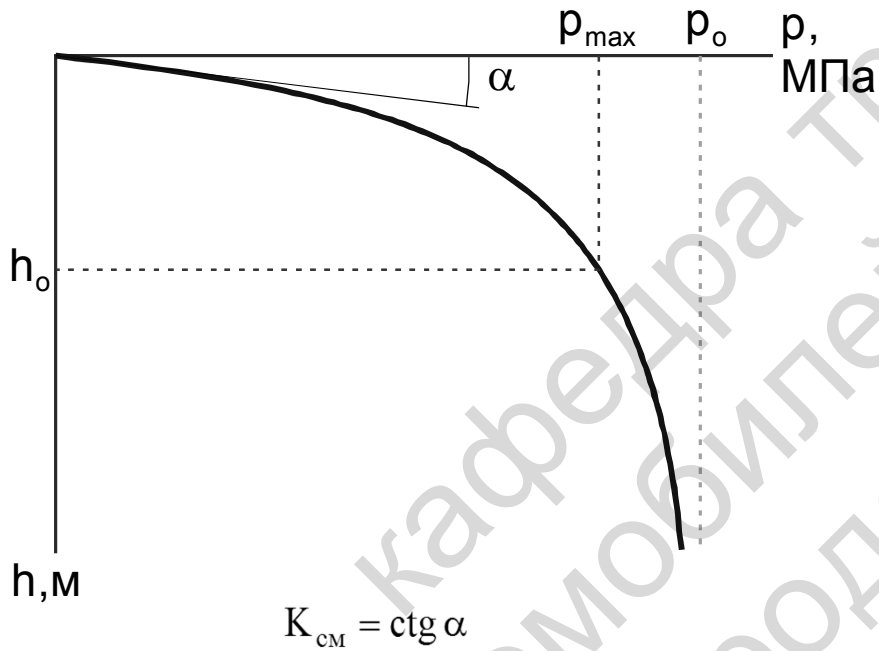
$$\frac{l_K}{l_{3B}} < 1,7$$

h_o – глубина колеи, м

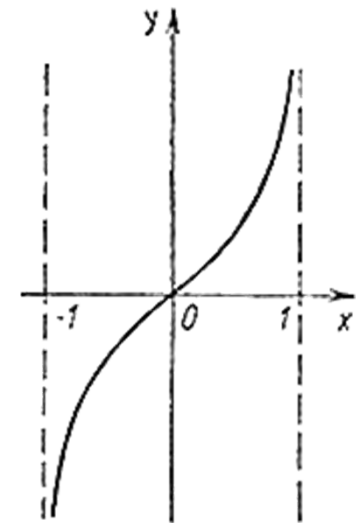
$$h_o = \frac{p_o}{K_{cm}} \operatorname{arth} \frac{p_{max}}{p_o}$$

p_o – предельная несущая способность почвы, МПа

K_{cm} – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³



$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

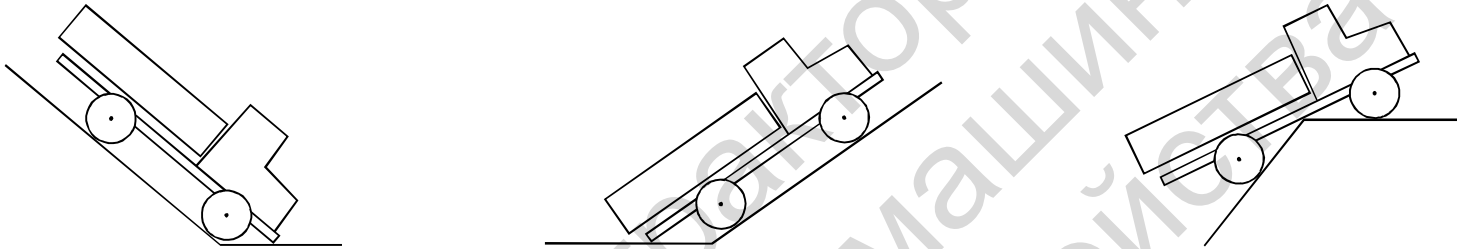


$$y = \operatorname{arth} x$$

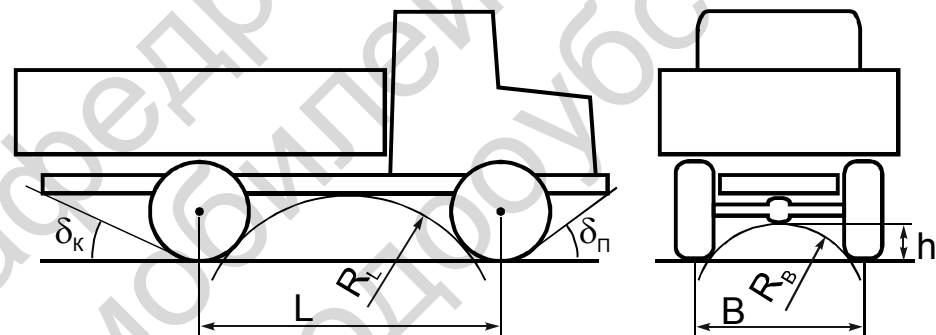
T – период (время) воздействия на почву, с

Профильная проходимость

Профильная проходимость – способность трактора или автомобиля преодолеть препятствия, обусловленные профилем местности



Колесная машина



$\delta_{\text{п}}, \delta_{\text{к}}$ – передний и задний углы свеса

$R_{\text{л}}$ – продольный радиус проходимости

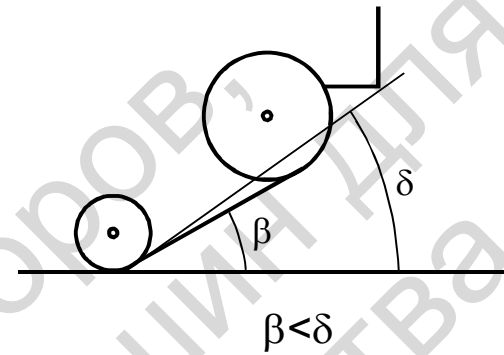
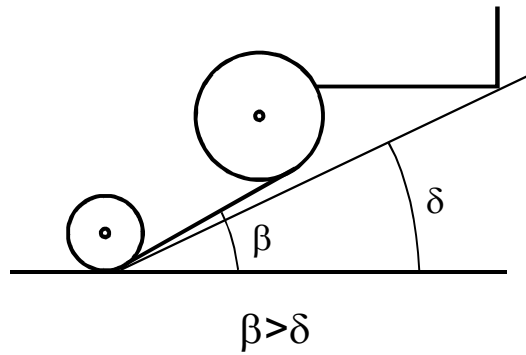
L – продольная база

$R_{\text{в}}$ – поперечный радиус проходимости

B – ширина колеи (поперечная база)

$h_{\text{д}}$ – дорожный просвет

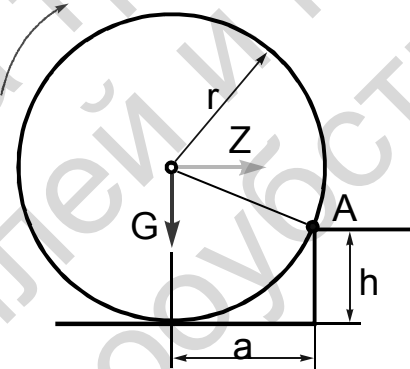
Гусеничная машина



Преодоление препятствия колесом

$$\Sigma M_A = Z(r - h) - Ga = 0$$

$$\frac{Z}{G} = \frac{a}{r - h}$$



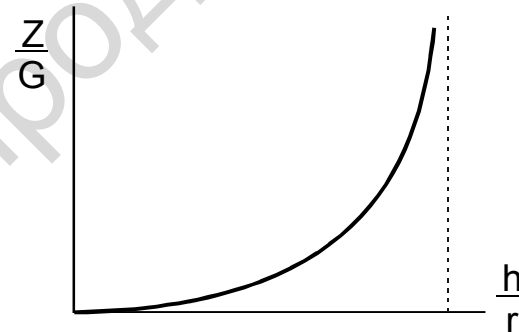
$$a = \sqrt{r^2 - (r - h)^2} = \sqrt{2rh - h^2}$$

$$\frac{h}{r} = c$$

$$a = \sqrt{2r^2c - r^2c^2} = r\sqrt{2c - c^2}$$

$$r - h = r - rc = r(1 - c)$$

$$\frac{Z}{G} = \frac{\sqrt{2c - c^2}}{1 - c}$$



$$h_{\max} \approx \frac{2}{3}r$$

Агротехническая проходимость

Агротехническая проходимость – способность трактора выполнять работу без повреждения почвы и растений

$p_{\text{доп}}$ – допустимое давление на почву, МПа

$\delta_{\text{доп}}$ – допустимая величина буксования, %

h_a – агротехнический просвет, м

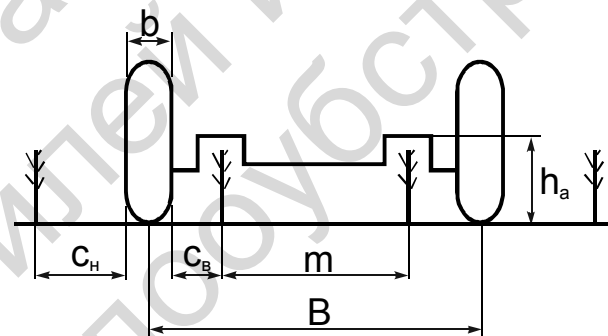
c_H, c_B – наружная и внутренняя защитные зоны растений

m – ширина междурядья, м

b – ширина колеса, м

B – ширина колеи, м

n – число рядков между колесами



$$b < [m - (c_B + c_H)]$$

$$c_H = 0,5[m(n+1) - B - b]$$

$$c_B = 0,5[B - b - m(n-1)]$$

Оптимальная ширина колеи $B_{\text{опт}} = mn$

тогда $c_B = c_H = 0,5(m-b)$

ТЕМА ЛЕКЦИИ

Плавность хода трактора и автомобиля

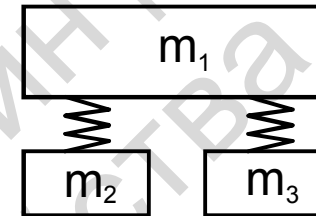
Плавность хода – способность машины поглощать толчки, удары, колебания, возникающие при движении

Плавность хода оказывает влияние на самочувствие людей, сохранность грузов, долговечность машин, производительность, расход топлива и т.д.

По экспериментальным данным, из-за недостаточной плавности хода средняя скорость движения грузового автомобиля может снизиться на 40...50%, а путевого расход топлива возрасти на 50...70%

Факторы, влияющие на плавность хода

1. Масса неподрессоренных частей



Коэффициент
неподрессоренных масс

$$k_n = \frac{m_2 + m_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

2. Конструкция подвески (зависимая/независимая/...,
рессорная/пружинная/торсионная/пневматическая/... и т.д.)

3. Жесткость подвески

4. Характеристики амортизаторов

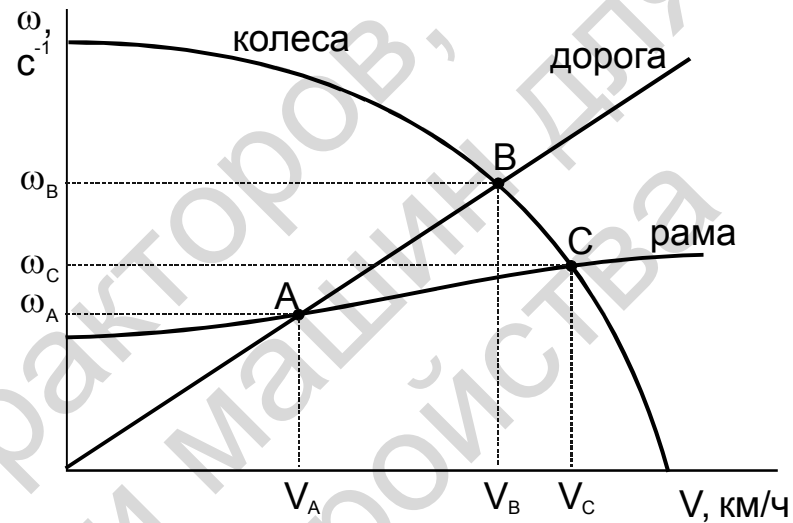


5. Конструкция и характеристики шин (радиальные/диагональные, жесткость, давление и т.д.)

6. Подвеска кабины и сиденья

Оценочные показатели плавности хода

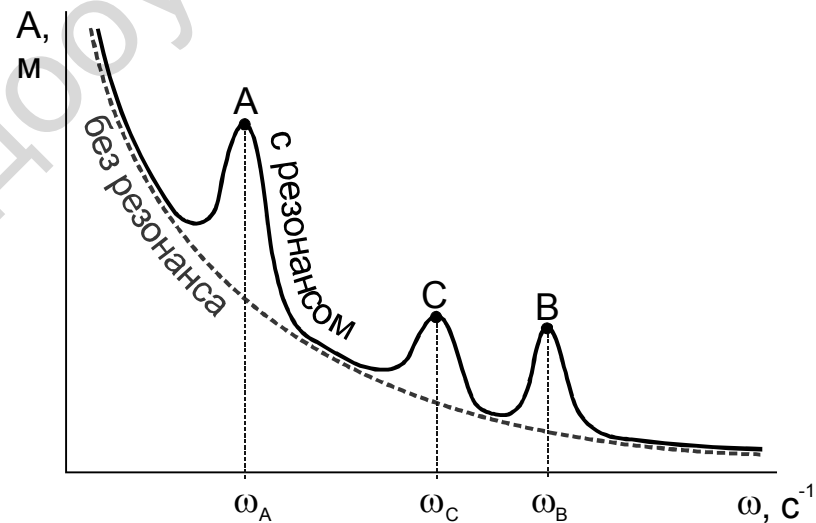
1. Частота колебаний ω , с^{-1}



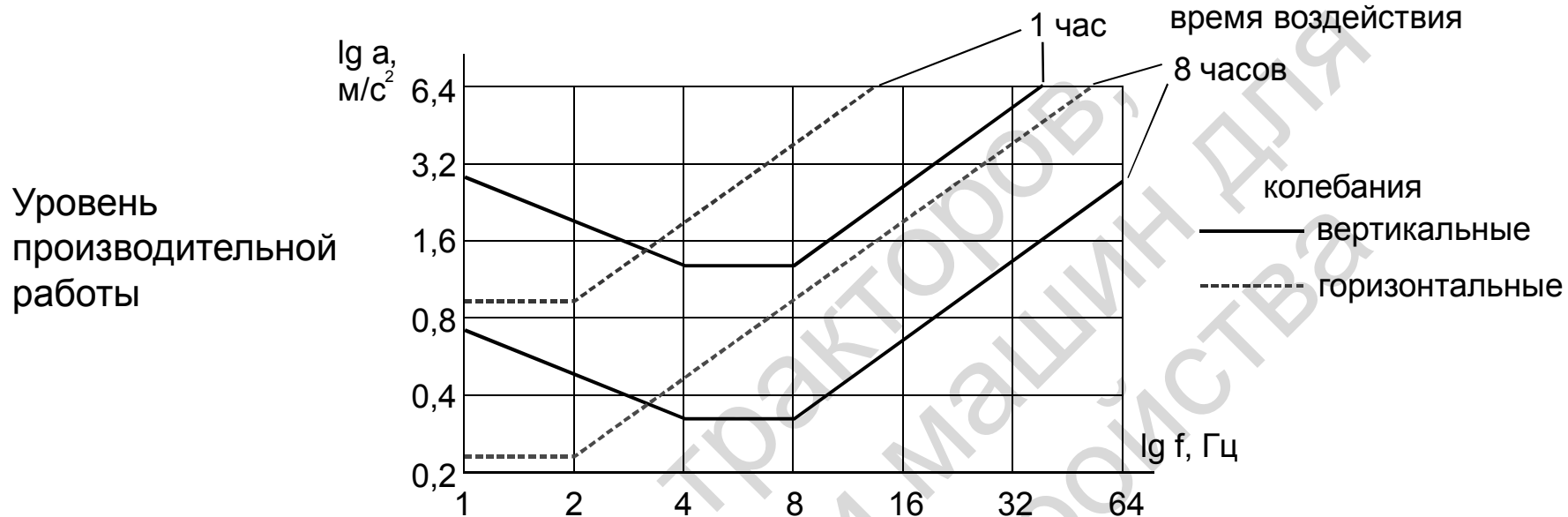
A, B, C – точки резонанса

2. Период колебаний T , с $T = \frac{2\pi}{\omega}$

3. Амплитуда колебаний A , м



4. Допустимое для человека ускорение a , м/с^2



Уровень безопасности здоровья в 2 раза ниже

Уровень комфорта в 3,15 раза выше

5. Среднеквадратичное ускорение $a_{\text{ср.кв.}}$, м/с^2

$$a_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i a_{\text{ср.}i})^2}$$

$a_{\text{ср.}i}$ – среднее ускорение в i -м диапазоне частот, м/с^2

k_i – весовой коэффициент чувствительности человека к ускорению в i -м диапазоне частот

