

## **Уплотняющие и опорные органы сельскохозяйственных машин**

1. Назначение и разновидности
2. Обоснование основных параметров
3. Режимы качения
4. Сопротивление качению
5. Зависимость тягового сопротивления от параметров катка и свойств почвы.

Литература:

Кленин Н.И. Сакун Вяч. Александрович

Сельскохозяйственные и мелиоративные машины М.

Колос 1994г стр. 101-113

Летошнев М.Н. СХМ. М.-Ленинград 1955г.

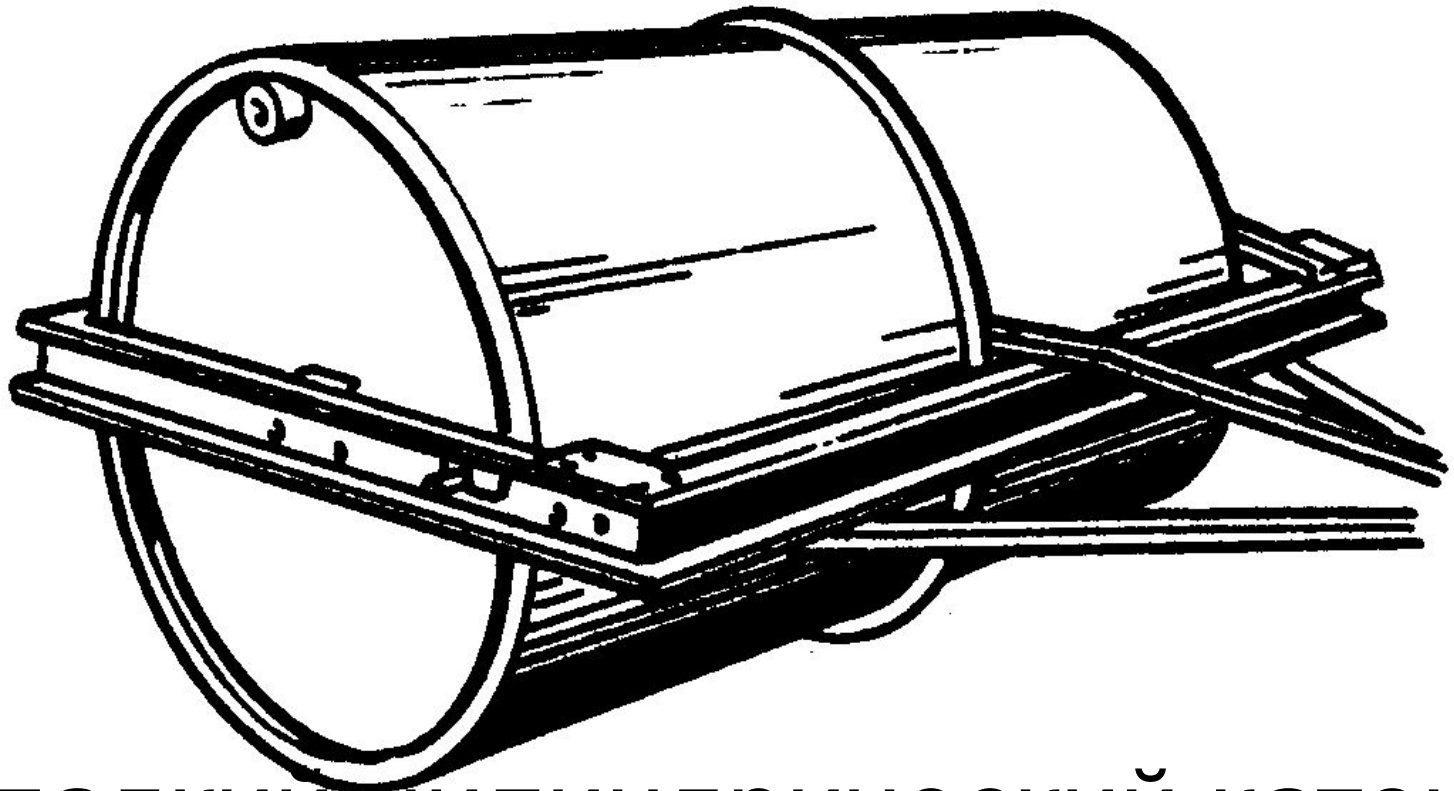
стр. 729-758

**Катки** относятся к числу рабочих органов для поверхностной обработки почвы, т.к. они предназначены для выполнения технологической операции уплотнения почвы.

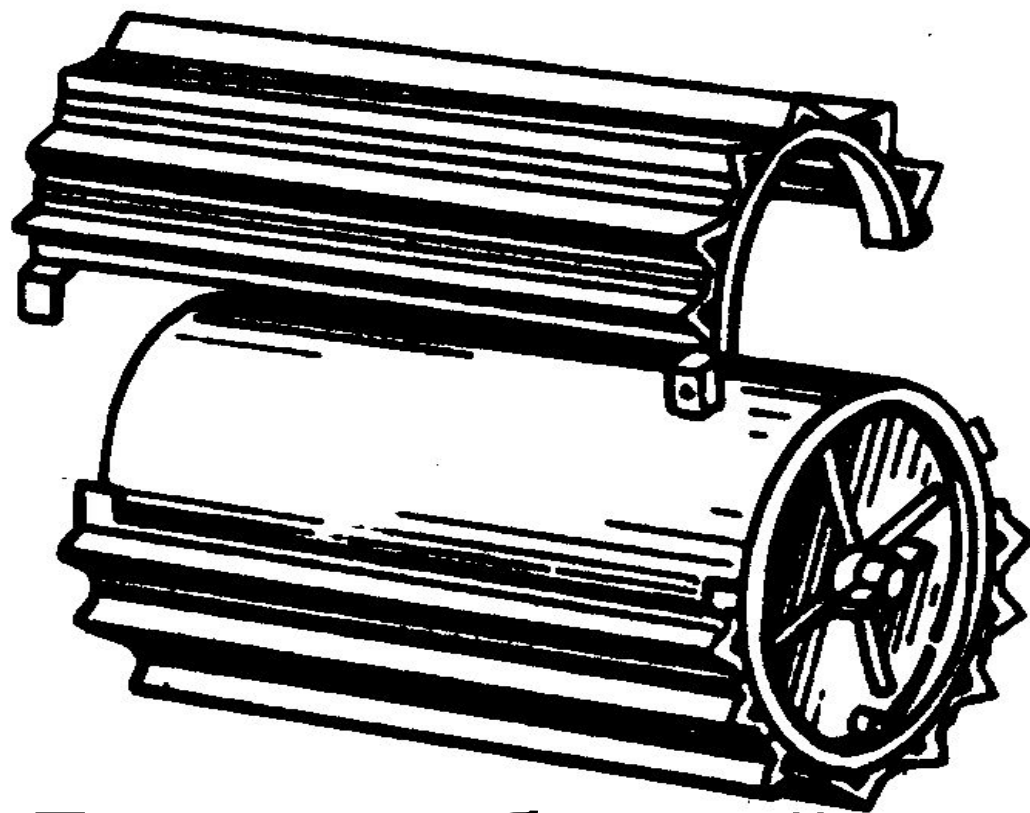
**Колеса-** к числу вспомогательных, служебных органов т.к. они выступают в роли опор. Или одновременно и движителей машины.

**Их объединяет** единство геометрической формы – в основе тех и других лежит круговой цилиндр с горизонтальной осью вращения и аналогичный характер воздействия на почву

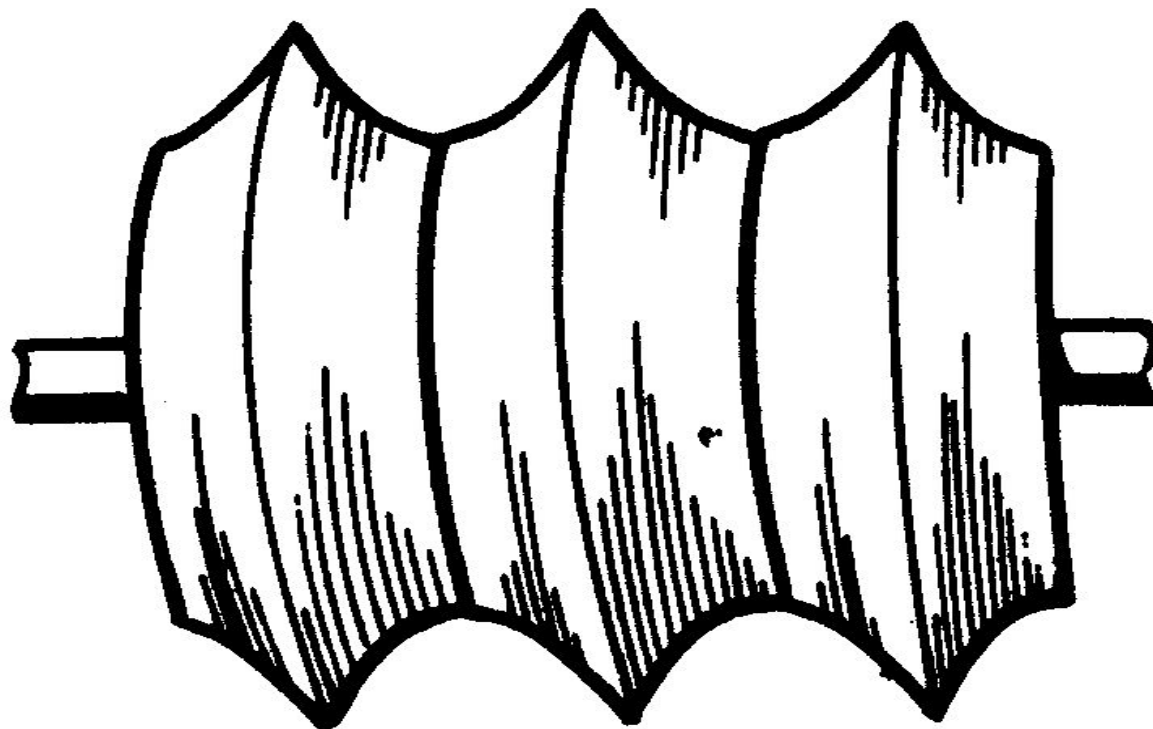
Катки могут быть использованы для обработки почв как до посева так и после



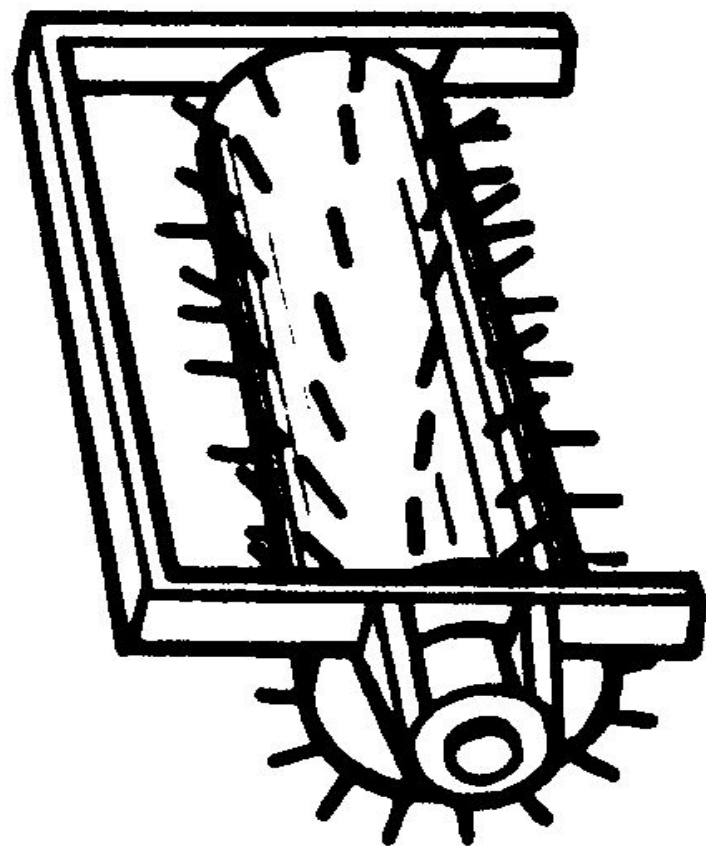
Гладкий цилиндрический каток



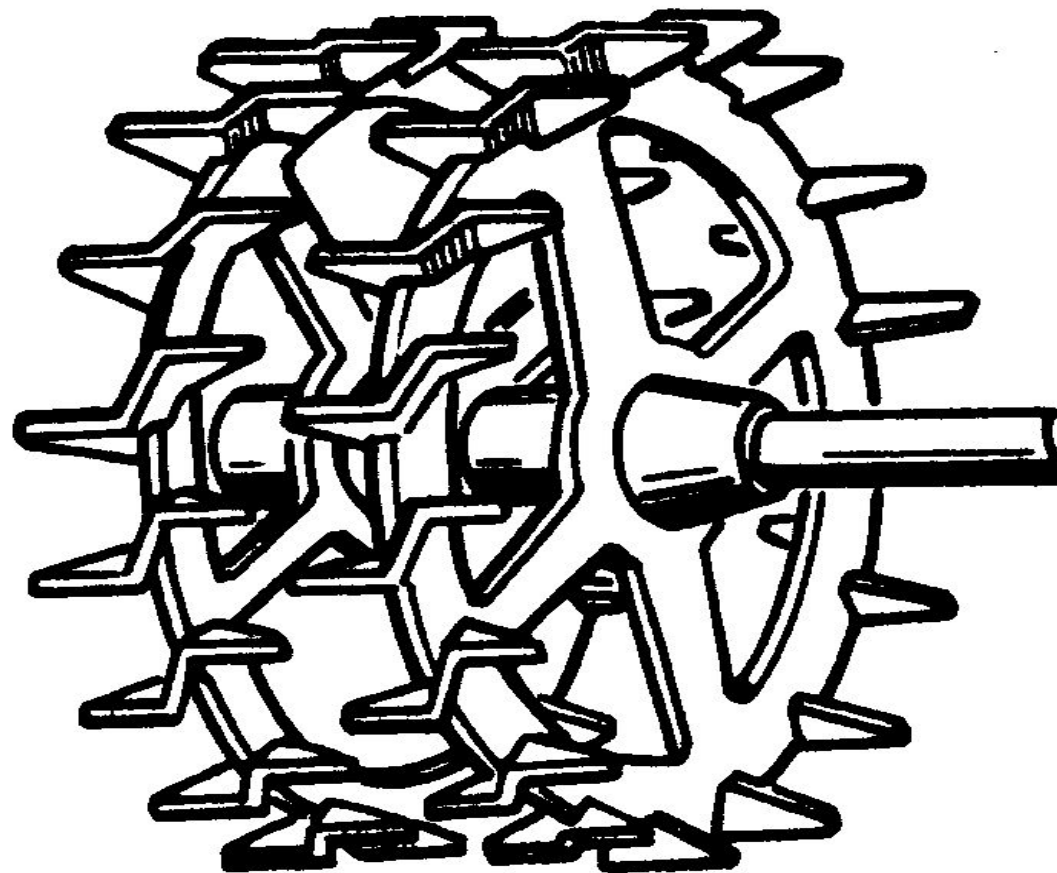
Гладкорубчатый каток



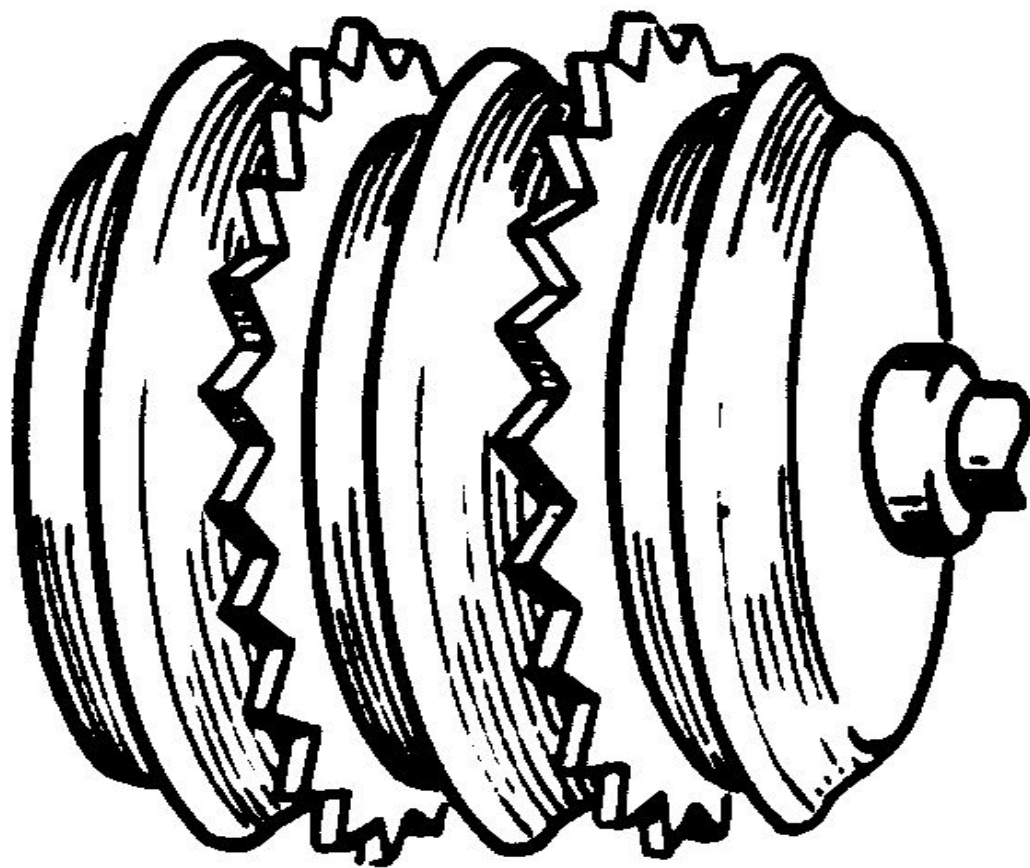
Кольчатый (клиновидный) каток



Борончатый каток



Кольчато-шпоровый каток



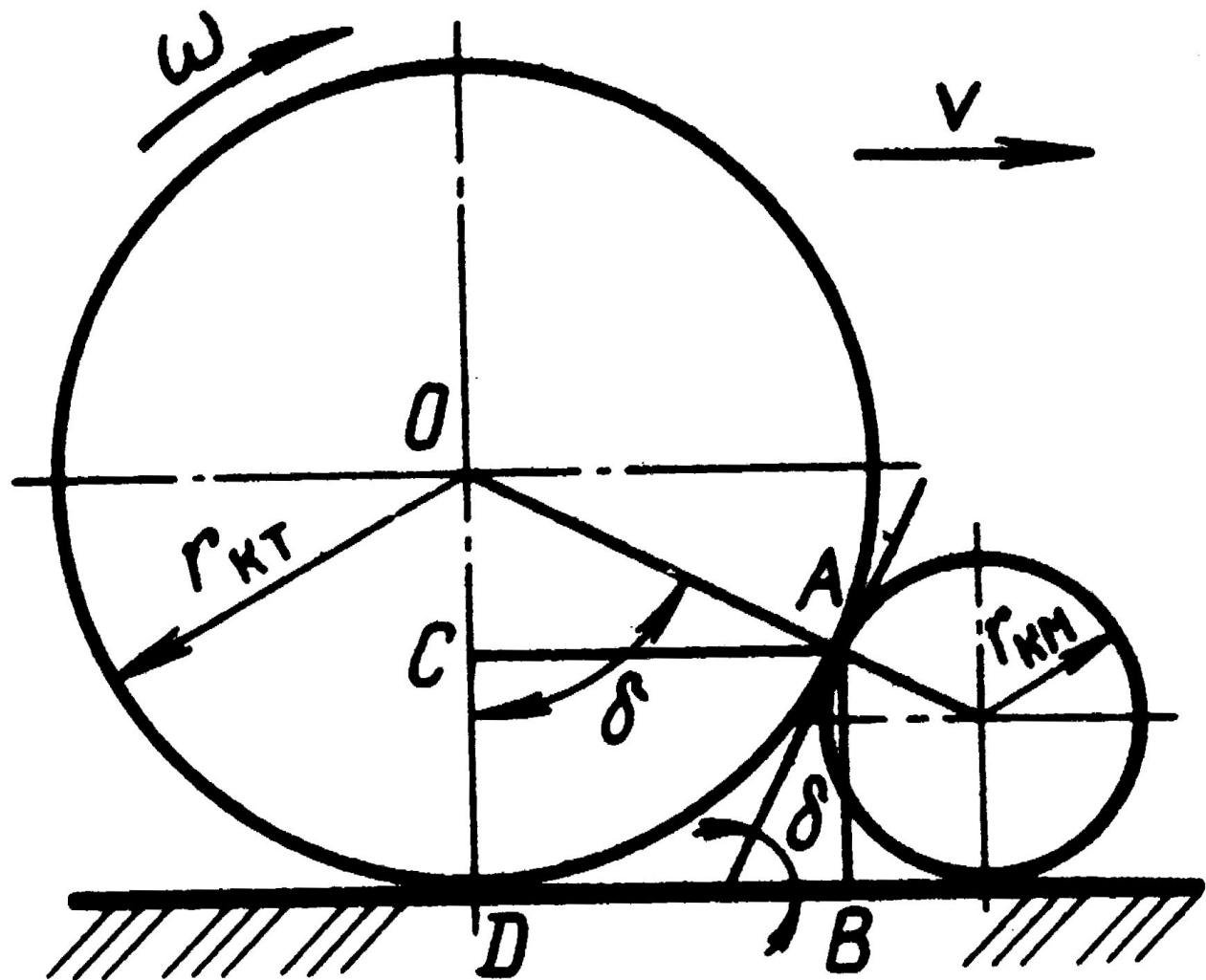
Кольчато-зубчатый каток



Основные параметры катков (колес) – это диаметр и длина (ширина) обода и коэффициент трения о почву. Диаметр должен быть таким, чтобы при встрече с крупным комком, каток легко перекатывался через него, не толкал его вперед. При перекатывании через комок давление концентрируется на нем и разрушает его или он вдавливаются в почву. В противном случае каток будет толкать его перед собой т.е. будет происходить сгуживание почвы.

Следовательно для нормальной работы катка необходимо зацепление почвенных комков. Т.е. должно соблюдаться условие  $\delta \leq \varphi_1 + \varphi_2$

Где  $\delta$  - угол зацепления комка о каток  
 $\varphi_1$  - угол трения комка о каток  
 $\varphi_2$  - угол трения комка о почву.



$$r_{km} - r_{km} \sin \delta = r_{km} + r_{km} \cos \delta$$

$$r_{km} - r_{km} \sin^2 \frac{\delta}{2} = r_{km} \cos^2 \frac{\delta}{2} : \text{или} - \frac{r_{km}}{r_{km}} = \operatorname{tg}^2 \frac{\delta}{2}$$

отсюда

$$r_{km} = \frac{r_{km}}{\operatorname{tg}^2 \frac{\delta}{2}}$$

или считая что  $\delta = \varphi_1 + \varphi_2$ , то получим

$$r_{km \min} = r_{km} / \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, r_{km \min} = r_{km} \operatorname{ctg}^2 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

$$r_{km \min} = r_{km} \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}, \text{ если } \varphi_1 = \varphi_2 \text{ , то}$$

$$r_{km \min} = r_{km} \times \operatorname{tg}^2 \varphi$$

## Выводы

1. Минимальный радиус катка прямо пропорционален среднему радиусу комков по поверхности обрабатываемого поля – комки можно измельчать.

2. Чем больше коэффициент трения катка о комки тем меньше может быть радиус катка коэффициент можно изменять изменяя например поверхность гладкую на гладко – рубчатую.

3. В зависимости от структурного состава почвы и размеров комков на поверхности поля целесообразно применять катки разного диаметра в различных почвенных зонах

4. Длину катка выбирают из условий рельефа. Для равнинных условий она как правило до 2-х м., для горных не более 1м.

## Режимы качения

Различают следующие режимы качения:

качение со скольжением, качение с буксованием, качение без скольжения и буксования.

**при качении без скольжения и буксования.**

$L=2\pi r n$  при качении со скольжением каток пройдет путь больший чем  $L=2\pi r n$  в этом случае часть пути каток проходит

$\Delta L_{ск}$  - со скольжением

Такой режим характерен для большинства катков и ведомых колес.

При качении с буксованием путь  $L_б$  меньше чем  $2\pi r n$  и часть пути оказывается потерянный. Такой режим характерен для

ведущих колес катков

степень

скольжения

$$\xi = \frac{\Delta L_{ck}}{L_{ck}} = \frac{2\pi(r + \Delta r)n - 2\pi rn}{2\pi(r + \Delta r)n} = \frac{\Delta r}{r + \Delta r}$$

изменяется от 0 до 1

коэффициент

буксования

$$\eta = \frac{\Delta L_{б}}{L_{б}} = \frac{2\pi(r - \Delta r)n - 2\pi rn}{2\pi(r - \Delta r)n} = \frac{\Delta r}{r - \Delta r}$$

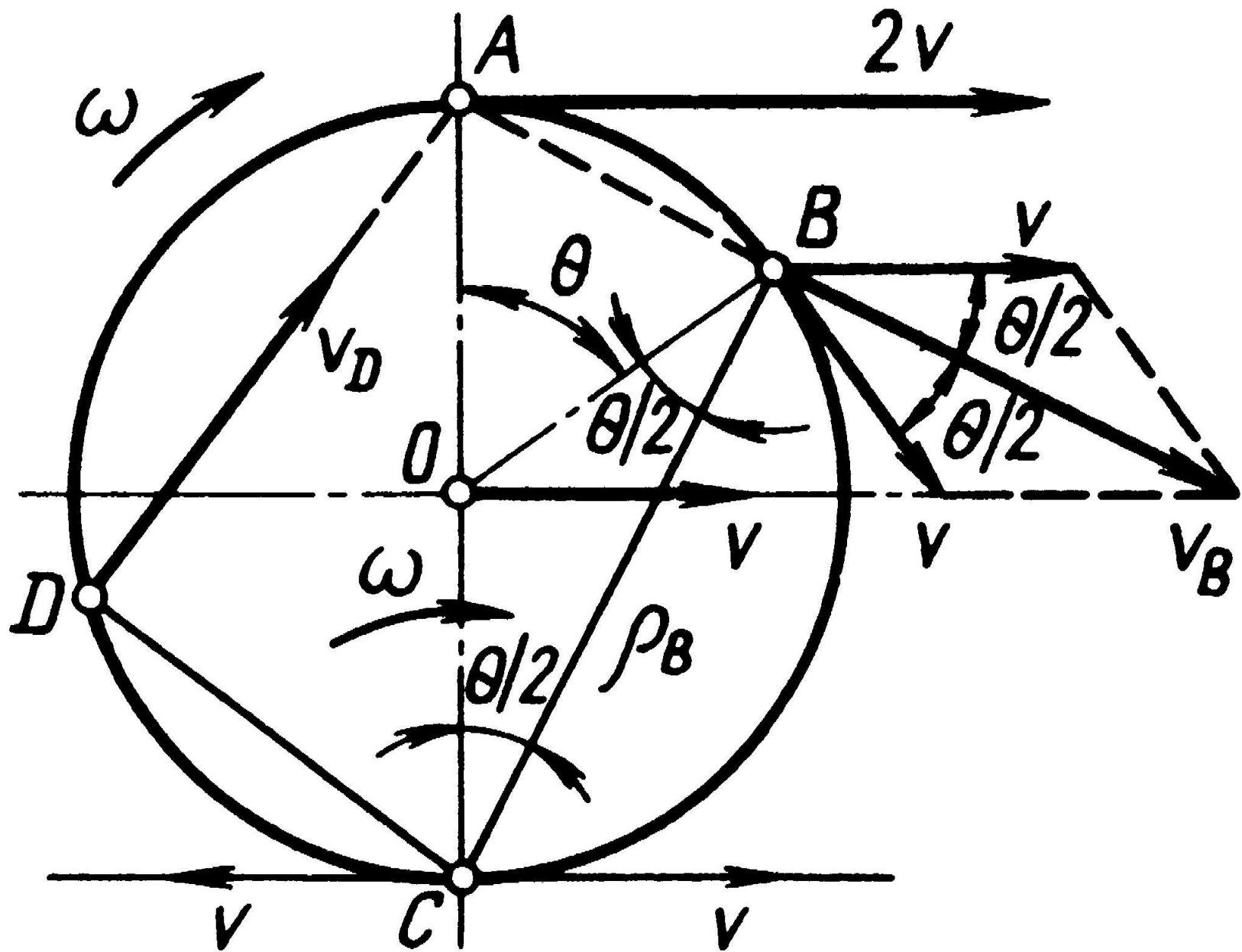
изменяется от 0 до  $\infty$ .

# Скорости точек при движении.

## Движение без скольжения и буксования

Может происходить с образованием и без образования колеи. Любая точка участвует в двух движениях : поступательном (переносном) вместе с орудием и вращательном (относительном) относительно оси  $O$ . При движении без скольжения. и буксования относительные и переносные скорости равны по модулю, но относительная скорость переменна по направлению. Поэтому абсолютная скорость как геометрическая сумма этих двух скоростей в процессе движения изменяется как по величине так и направлению



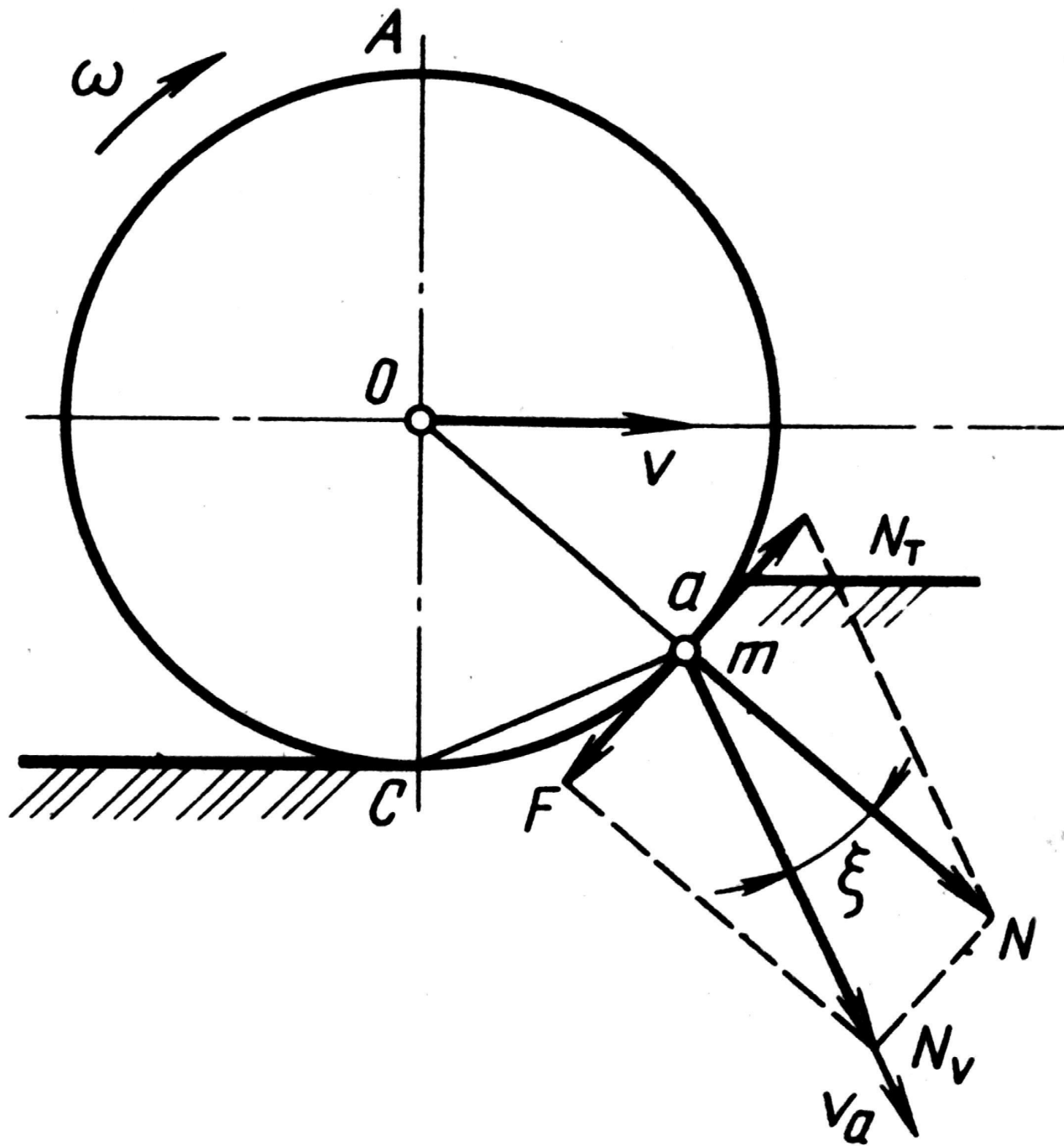


В точке С векторы относительной и переносной скорости направлены по одной прямой, но в разных направлениях.

Следовательно абсолютная скорость т. С=0. , а точка носит название мгновенного центра скоростей (МЦС) т.к. все остальные точки катки в данный момент в абсолютном движении поворачивается относительно МЦС, то их абсолютная скорость пропорциональна угловой скорости вращения и расстоянию этих точек от точки С например абсолютная скорость

$$V_{\text{т.}} = V_{\text{в}} = \omega \rho_B$$

если к  $\rho_B$  - провести перпендикуляр, то он покажет направление абсолютной скорости.



## Качение с образованием колеи

Пусть каток катится по полю с образованием колеи. Т. **a** перемещаясь в направлении скорости **V<sub>a</sub>** давит на соприкасающуюся с ней почвенную частицу по нормали с силой **N**.

Разложим силу **N** на две составляющие по направлению скорости т. а вокруг МЦС и по касательной к окружности **N<sub>v</sub>** и **N<sub>т</sub>**.

$$N_{т} = N \operatorname{tg} \xi$$

Сила **N<sub>т</sub>** стремится заставить почвенную частицу **m** скользить по рабочей поверхности катка. Но этому препятствует сила **F** трения.

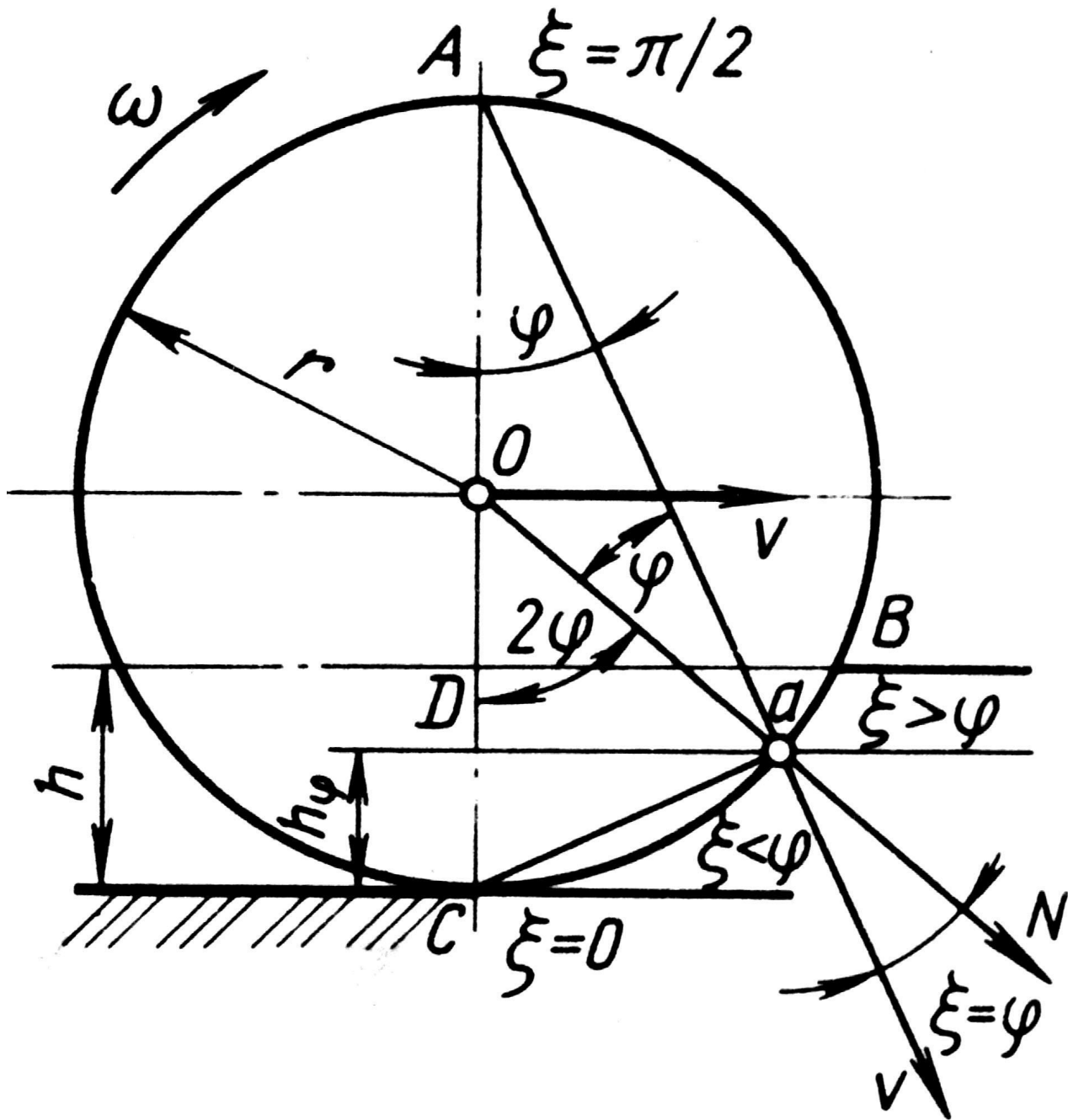
Характер движения почвенной частицы будет зависеть от соотношения углов  $\varphi$  и  $\xi$ . Если  $\xi < \varphi$ , то угла

$$N_T = Ntg\xi < F_{\max} = Ntg\varphi$$

и скольжения не будет т.к. сила трения вызванная действием силы  $N_T$  не достигнет своего максимума и как сила реакции будет равна возбуждившей ее силе  $N_T = F$

В этом случае силы уравновешиваются и почвенная частица  $m$  окажется лишь под действием силы  $N_g$ , при этом частица  $m$  будет перемещаться вместе с точкой  $a$  катка, в направлении ее скорости  $\mathcal{G}_a$ , т.е. будет происходить уплотнение без проскальзывания. Если  $\xi > \varphi$ , то  $Ntg\xi > Ntg\varphi$ .

Следовательно  $N_T > F_{\max}$ . В этом случае сила трения достигнув своего максимума не уравновешивает  $N_T$  и уплотнение почвы будет сопровождаться скольжением почвенных частиц под действием силы  $N_T - F_{\max} = N(tg\xi - tg\varphi)$ .



угол  $\xi$  изменится от 0 в т. **с** до  $\frac{\pi}{2}$  в т. **а** в

процессе возрастания от 0 до  $\frac{\pi}{2}$   $\xi$

принимает значение  $\xi = \varphi$ ,

тогда выше т. **а** происходит скольжение почвы, а ниже т. **а** уплотнение без скольжения, как видно из рисунка

$$h_y = OC - OD = r - r \cos 2\varphi = 2r \sin^2 \varphi,$$



следовательно на глубине от 0 до  $h - h_y$   
от поверхности поля будет скольжение,  
а от  $h - h_y$  до  $h$

уплотнение почвы без скольжения, т.е. при  
контакте частицы или комка выше точки **a**, где  
 $\xi > \phi$

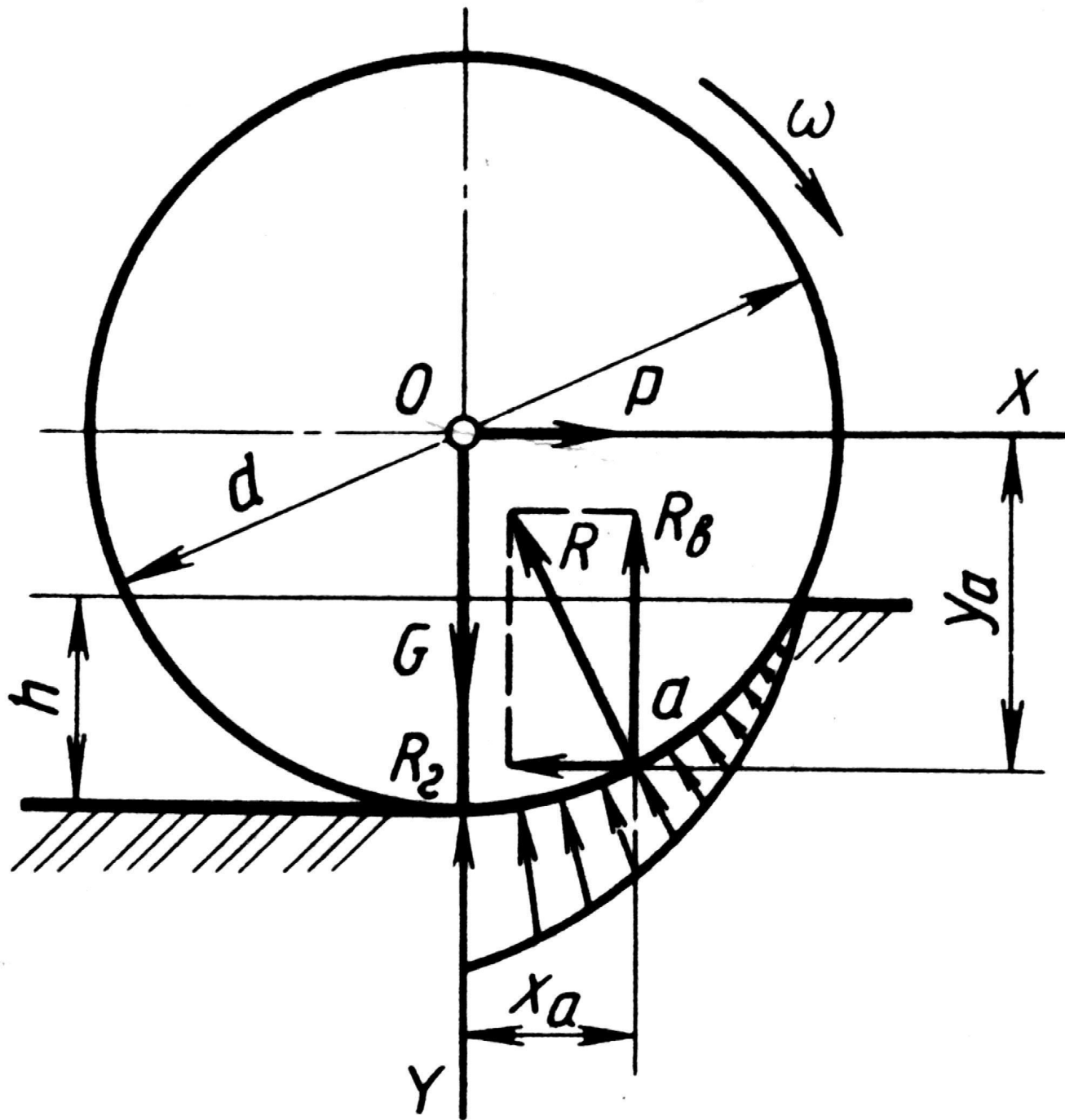
будет происходить скольжение, а при контакте  
ниже точки **a**, т.е. диаметре комка меньше  
предельного  
будет происходить его уплотнение, т.е. вдавливание  
в почву или разрушение.

## Сопротивление качению

### Движущий момент и момент сопротивления

Пусть каток движется по полю с образованием колеи. В этом случае к оси вращения  $O$  приложена вертикальная сила  $P$  складывающаяся из веса части машины и веса самого катка и горизонтальная сила тяги или толкающая сила  $T$ .

Вместе эти силы дают равнодействующую которая обязательно пересекает дно колеи в некоторой точке  $a$ . Действие этой силы вызывает реакцию колеи  $R$  приложенную к катку в той же точке  $a$  по направлению в противоположную сторону. Эта реакция колеи  $R$  складывается из элементарных сил, значения которых при относительно небольшой глубине колеи пропорциональны линейной деформации почвы.



Разложив силу  $R$  на две составляющие-горизонтальную и вертикальную  $R_t$  и  $R_v$  составим условие равновесия (равномерного движения катка) которое определяется следующими уравнениями.

$$\sum x = T - R_z = 0 \quad (1)$$

$$\sum y = P - R_v = 0 \quad (2)$$

$$\sum m_z(A) = Ty - Px_a = 0 \quad (3)$$

Из первого уравнения следует, что  $T=R_z$ ;  $P=R_v$ . Следовательно на каток действует две пары сил  $P$  и  $R_v$  и  $T$  и  $R_z$  с плечом  $y_a$  образуют движущий момент а вторая пара  $P$  и  $R_v$  с плечом  $x_a$  момент сопротивления

Тогда из третьего уравнение системы

$$T = P \frac{x_a}{y_a} \quad (4)$$

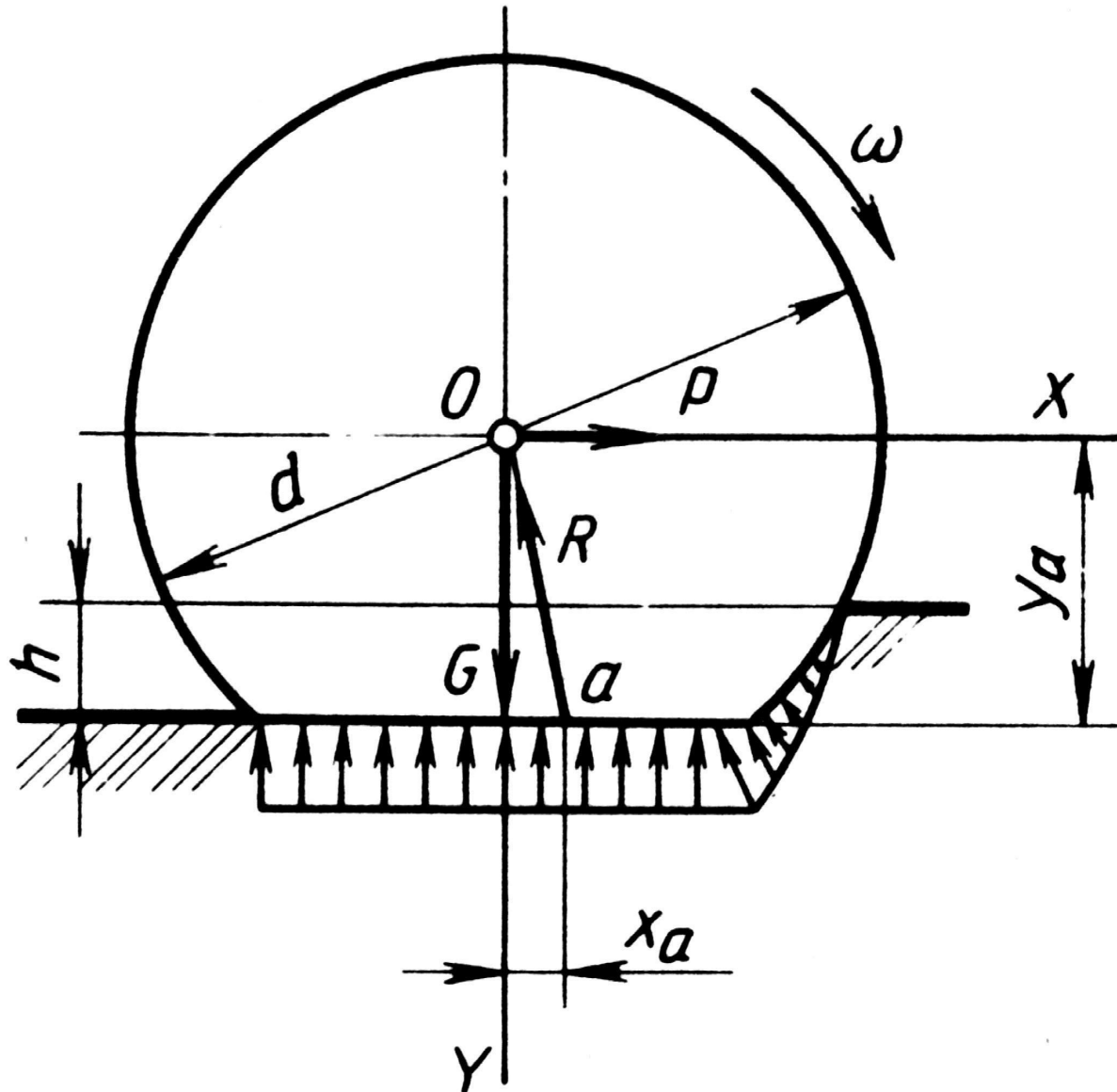
## ВЫВОД

1) чем меньше глубина колеи, тем меньше плечо  $x_a$  и следовательно меньше момент сопротивления  $P_x$  а и сила  $T$ .

2) Из выражения четыре следует, что с увеличением диаметра катка  $D$  увеличивается  $u_a$  и уменьшается сила  $T$ .

Например при увеличении диаметра катка вдвое почти вдвое увеличивается и плечо  $u_a$ , а плечо  $x_a$  удлиняется в меньшей мере, а глубина колеи уменьшается. Уменьшение силы  $T$  произойдет как в следствии увеличения плеча  $u_a$  так и в следствии уменьшения глубины  $h$

# Качение пневматического колеса



3) Из рисунка и выражения следует, что для качения пневматического колеса (катка) при одинаковом диаметре  $D$  и вертикальной нагрузки  $P$  потребуется меньше усилие  $T$ . **Во первых** вследствие деформации шины увеличивается опорная площадь, что вызывает уменьшение удельного давления, а следовательно глубины колеи а при меньшей глубине колеи требуется меньшая энергия на деформацию, а следовательно и на качение колеса.

**Во вторых** при жестком ободке элементарные силы реакции почвы располагаются лишь перед нижним концом вертикального диаметра, а при пневматическом ободке по обе стороны от нижнего конца диаметра. По этой причине равнодействующая элементарных сил при пневматическом ободке расположится ближе к нижнему концу диаметра (плечо ха меньше), что приведет к снижению момента сопротивления и уменьшению движущей силы  $T$ .





Пусть каток катится по полю и образует колею. Выбрав начало координат  $O_1$  в точке пересечения вертикального диаметра с поверхностью поля выделим на дуге окружности обода катка элементарный отрезок  $dl$ . При длине катка  $b$  на его поверхности будет выделена площадь  $dS = bdl$ , которую с достаточной точностью при малом  $dl$  можно считать прямоугольником. Тогда элементарная сила реакции на эту площадь будет равна

$$dR = \sigma bdl, \text{ где}$$

$\sigma$  - напряжение сжатия почвы. При относительно небольшой глубине  $\sigma = qy$  - где  $q$  - коэффициент объемного сжатия,  $y$  - линейная деформация почвы.

Часть сегмента со сторонами  $dx$ ,  $dy$  и  $dl$  с точностью до малых высшего порядка можно считать

треугольником в котором угол между  $dl$  и  $dx = \beta$  - центральный угол, т.к. взаимно перпендикулярные стороны.

Тогда  $dl = dy / \sin \beta$ , подставим в выражение для элементарной силы, получим  $dR = bqydy / \sin \beta$  в результате интегрирования имеем:

$$R = \frac{bq}{\sin \beta} \int_0^h ydy = \frac{bqh^2}{2\sin \beta}$$

Однако в уравнение не входят такие параметры как  $d$  и  $G$ .  
 Подставим в выражение элементарной силы  $dR$  вместо  $dl$  его значение выраженное через  $dx$ ; т.е.  $dl = dx / \cos \beta$  и изменив

пределы интегрирования получим  $R = \frac{bq}{\cos \beta} \int_0^x y dx$  верхний

предел  $x \approx \sqrt{dh}$ , а  $y = h = x^2 / d$ . Получим  $R = \frac{2bqh\sqrt{dh}}{3 \cos \beta}$ .

При условии равновесия  $G = R \cos \beta$ .

Следовательно  $G = 2/3bqh\sqrt{dh}$ . Отсюда  $h = 1,31 \sqrt{\frac{G^2}{b^2 q^2 d}}$ .

Или  $P = 0,863 \sqrt{\frac{G^4}{bqd^2}}$ .

В практике пользуются упрощенной формулой  $P = \mu G$ , где

$$\mu = 0,863 \sqrt{\frac{G}{qbd^2}}, \mu - \text{коэффициент перекачивания.}$$

Зная вес катка и его диаметр можно определить колею, или задаваясь колеёй определить диаметр катка.

$1/\mu$  - транспортирующая способность.

Принимая  $\frac{2}{3}qh\sqrt{h} = k$  формула примет вид  $G = kb\sqrt{d}$ .

Причем предлагается брать:

Машины почвообработки	$k = 3 \dots 4$
Уборочные	$k = 4 \dots 5$
Транспортные	$k = 6 \dots 7$

$\sigma$  Формула проста и позволяет для любого диаметра подобрать подходящую ширину обода  $b$  и наоборот. Например полевое колесо тракторного плуга несет нагрузку 450 кг.

Определить  $b$  и  $d$  исходя из соображений конструктивного характера берем  $d = 60$  см, для  $k = 4$  определяем ширину

обода  $b = \frac{450}{4\sqrt{60}} = 14,5\text{см}$ .

Для пневматических шин:

$$P = C_1 G \sqrt[3]{\frac{T}{q_0 d}} + C_2 \sqrt{\frac{G^2}{T d^2}}$$

Где:  $C_1$  - коэффициент, определяет слагающую тягового сопротивления на деформацию пути;  $C_2$  - коэффициент, определяет слагающую тягового сопротивления на деформацию шины;  $T$  - давление в шине.