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

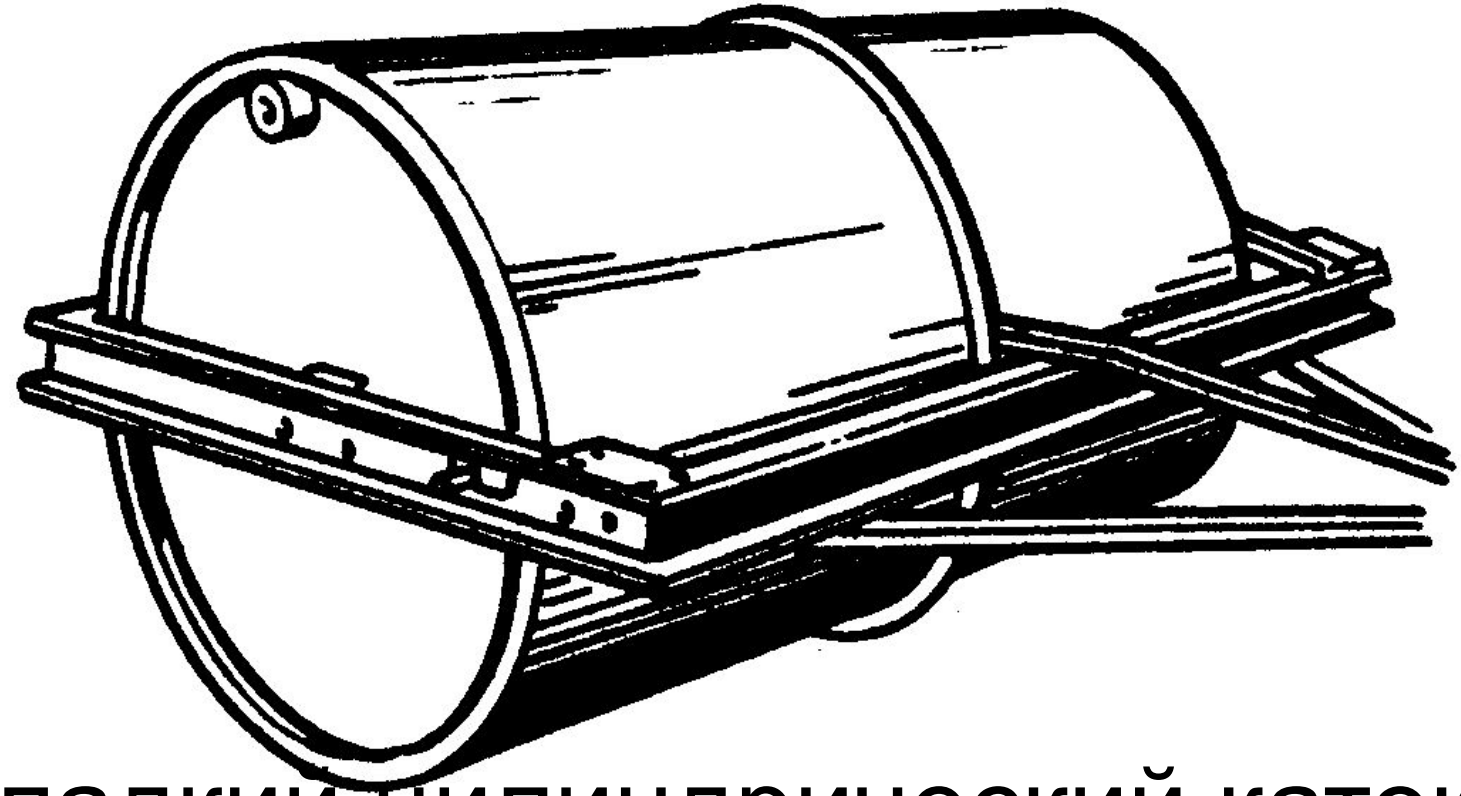
Летошнев М.Н. СХМ. М.-Ленинград 1955г. стр. 729-758

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

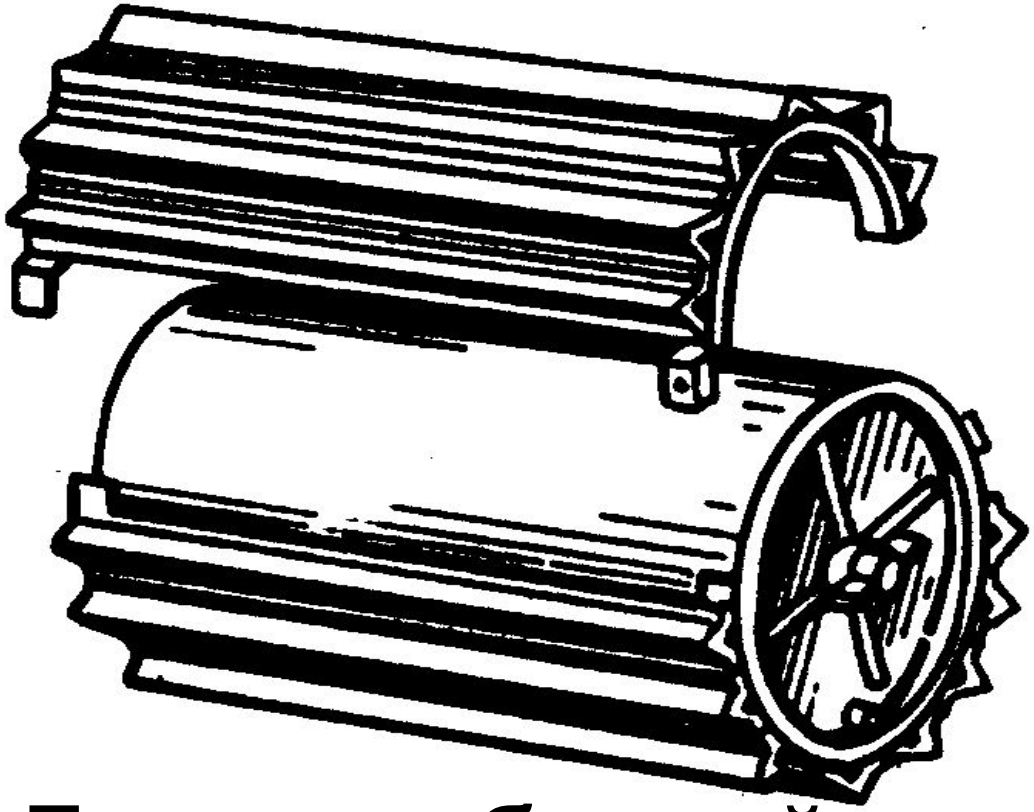
Колеса- к числу вспомогательных, служебных органов т.к. они выступают в роли опор. Или одновременно и движителей машины.

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

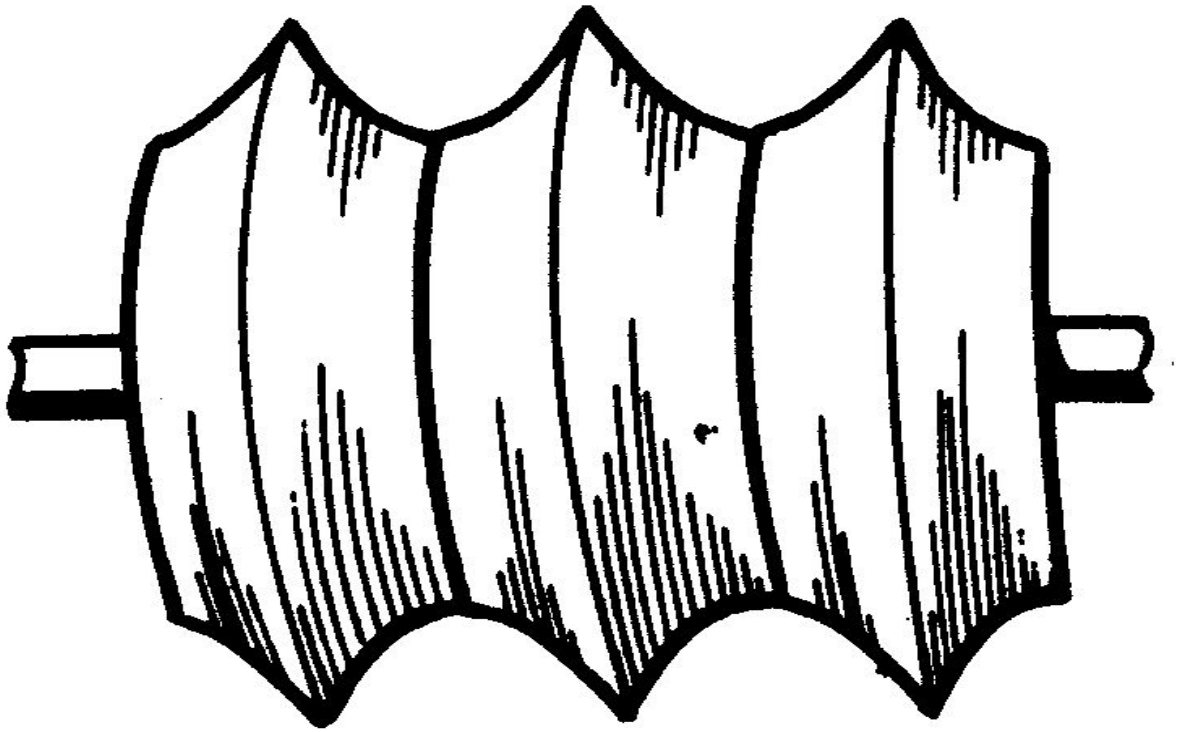
Катки могут быть использованы для обработки почв как до посева так и после



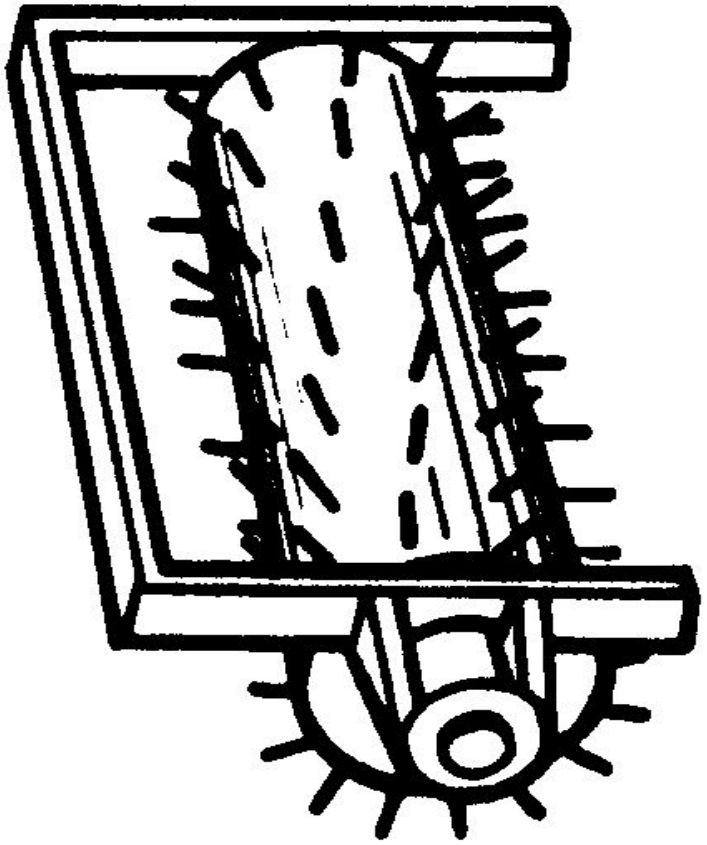
Гладкий цилиндрический каток



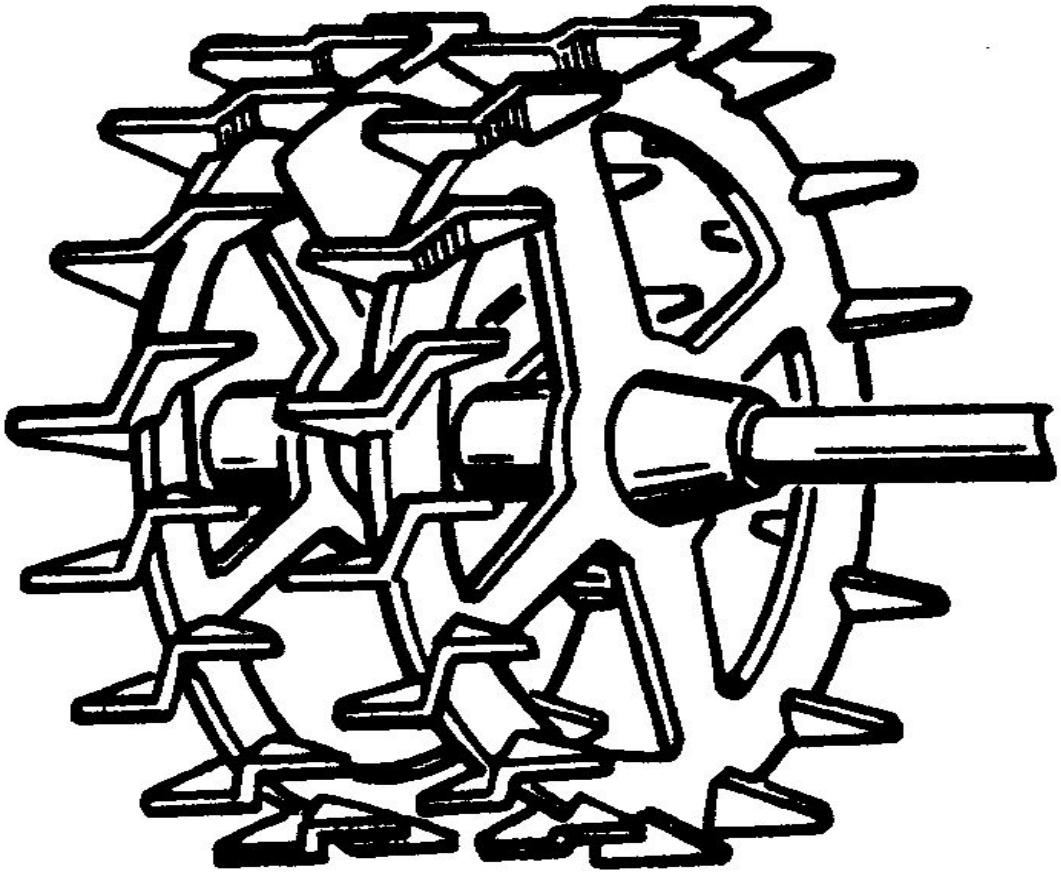
Гладкорубчатый каток



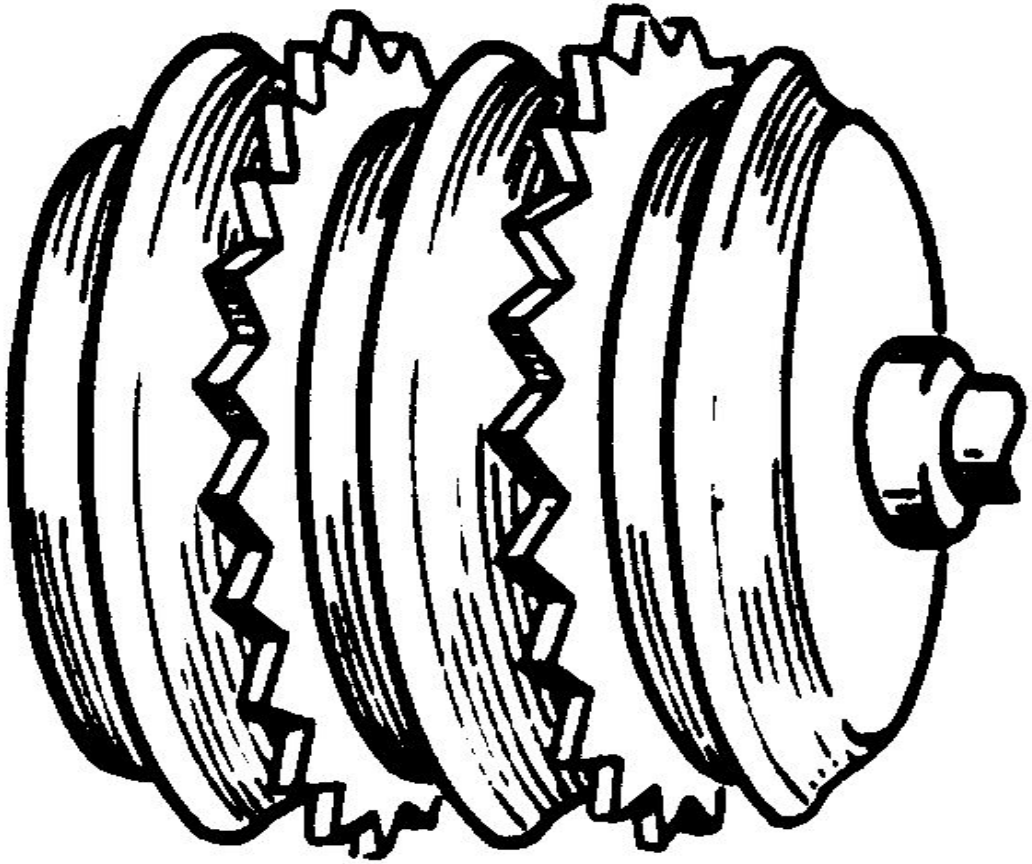
Кольчатый (клиновидный) каток



Борончатый каток



Кольчато-шпоровый каток



Кольчато-зубчатый каток

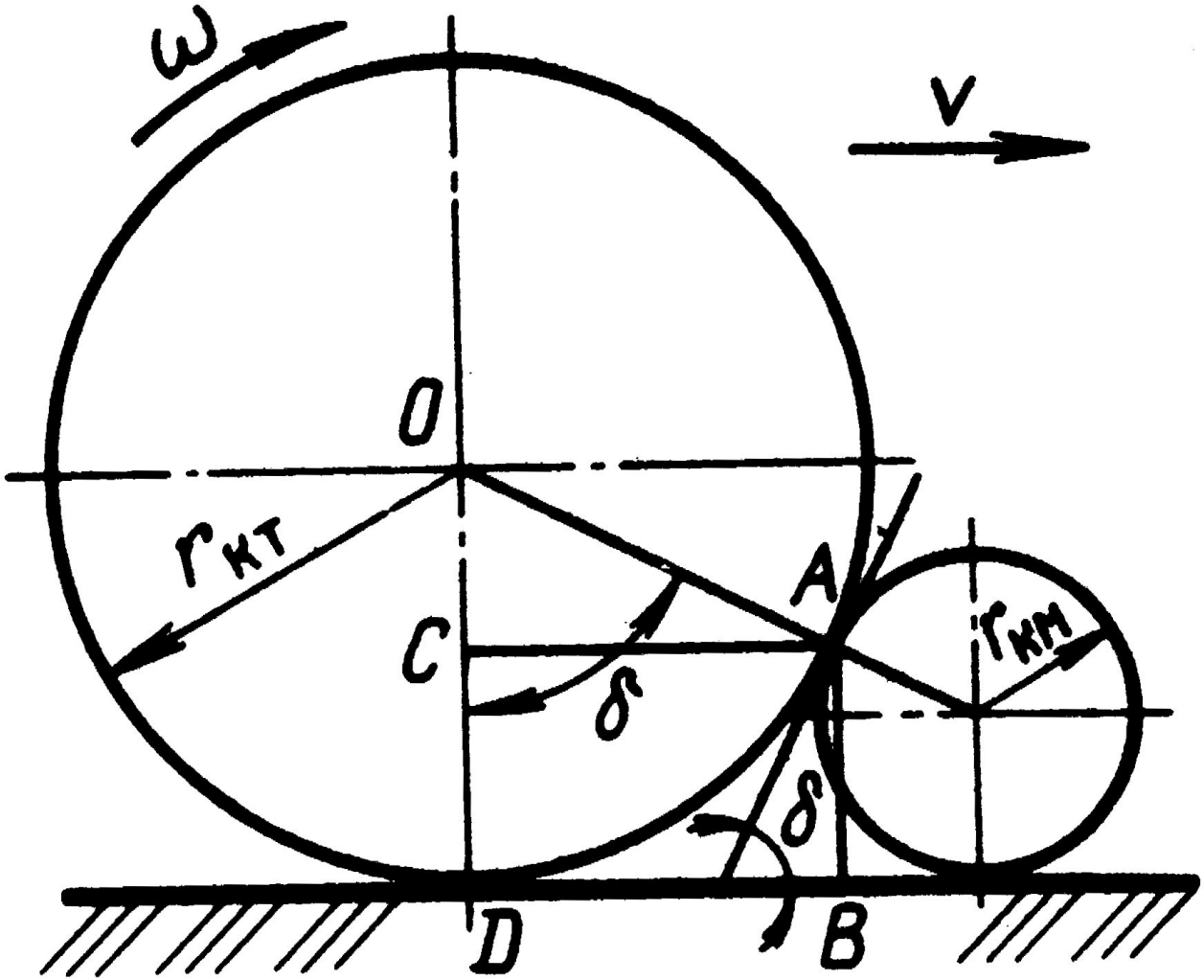
Основные параметры катков (колес) – это диаметр и длина (ширина) обода и коэффициент трения о почву. Диаметр должен быть таким, чтобы при встрече с крупным комком, каток легко перекатывался через него, не толкал его вперед. При перекатывании через комок давление концентрируется на нем и разрушает его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

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

Где δ - угол зацепления

φ_1 - угол трения комка о каток

φ_2 - угол трения комка о почву.


ω
V
O
$r_{кт}$
A
C
$r_{км}$
δ
δ
D
B

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

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

отсюда $r_{km} = \dfrac{r_{км}}{tg^2\dfrac{\delta}{2}}$

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

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

$r_{км\min} = r_{km}tg^2\dfrac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$, если $\varphi_1 = \varphi_2$, то

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

Выводы

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

2. Чем больше коэффициент трения катка о комок 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=2П r n при качении со скольжением каток пройдет путь больший чем L=2П r n в этом случае часть пути каток проходит

ΔLck - со скольжением

Такой режим характерен для большинства катков и ведомых колес.

При качении с буксованием путь $L_б$ меньше чем 2Пrn и часть пути оказывается потерянный. Такой режим характерен для ведущих колес, катков

степень скольжения

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

изменяется от 0 до 1

коэффициент буксования

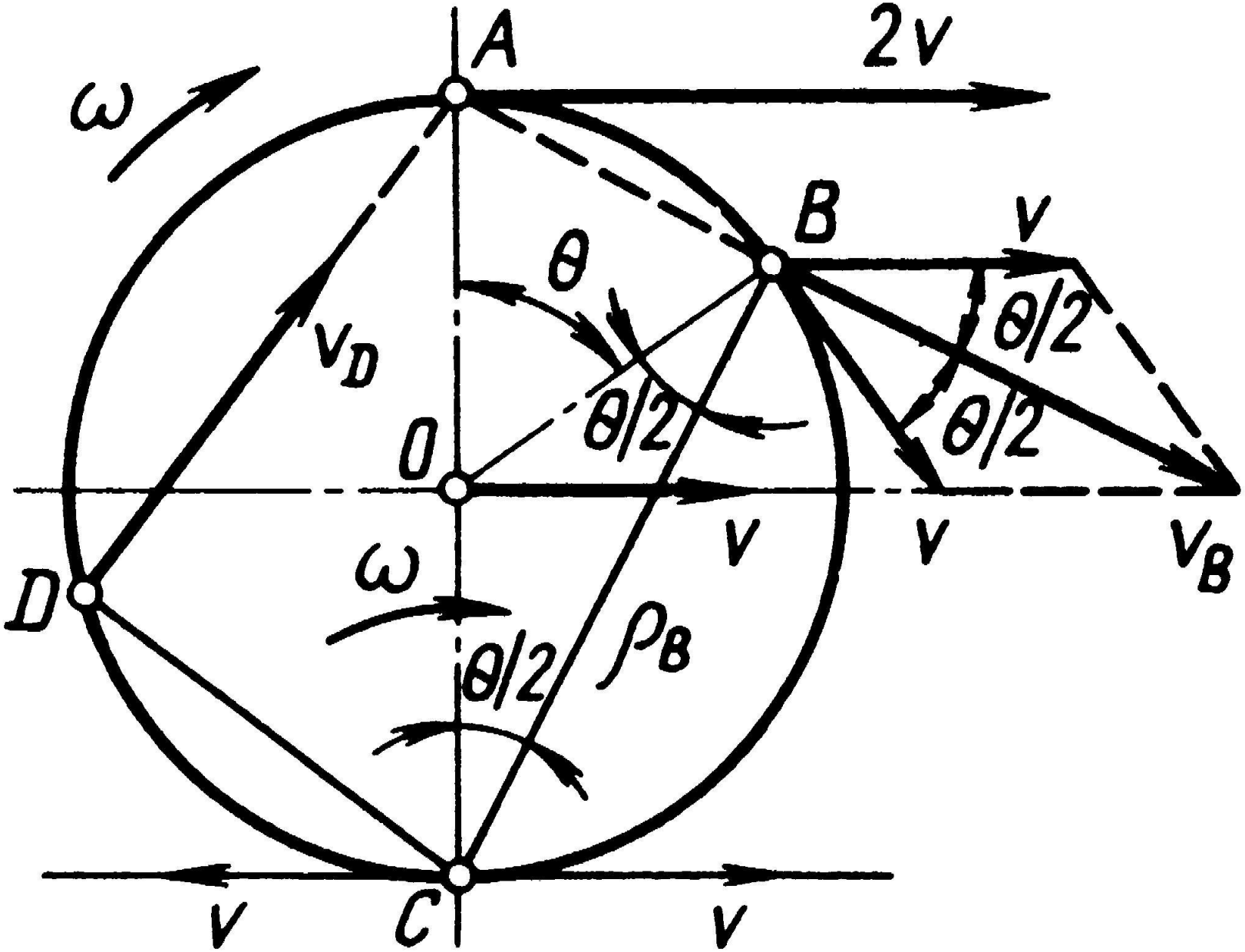
$$\eta = \frac{\Delta Lб}{Lб} = \frac{2\pi(r-\Delta r)n - 2\pi rn}{2\pi(r_{.}-\Delta r)n} = \frac{\Delta r}{r-\Delta r}$$

изменяется от 0 до ∞.

Скорости точек при движении.

Движение без скольжения и буксования

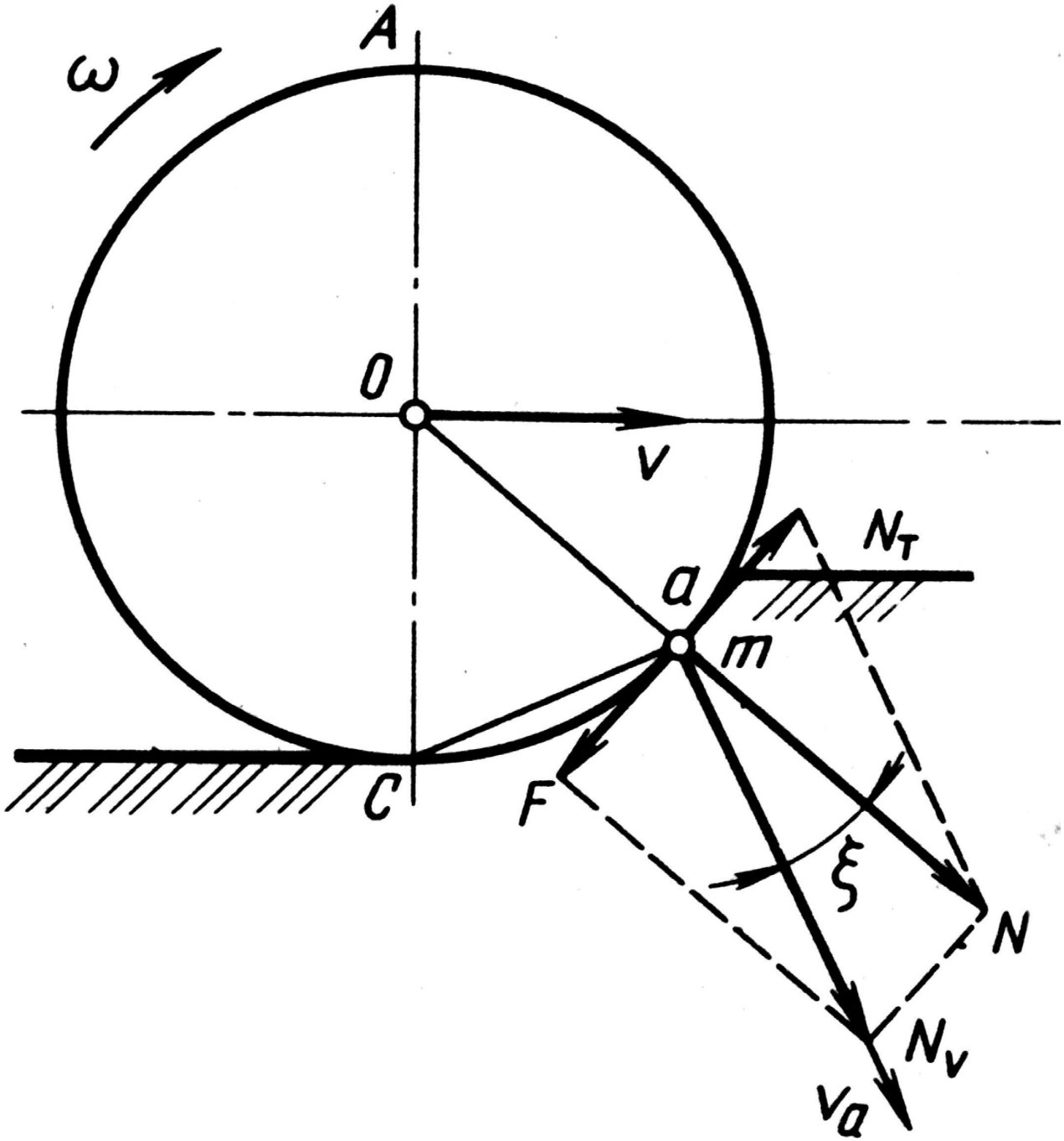
Может происходить с образованием и без образования колеи. Любая точка участвует в двух движениях : поступательном (переносном) вместе с орудием и вращательном (относительном) относительно оси О. При движении без скольжения. и буксования относительные и и переносные скорости равны по модулю, но относительная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


A
2V
ω
B
V
θ
θ/2
V_D
θ/2
θ/2
O
V
V
V_B
D
ω
ρ_B
θ/2
V
C
V

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

т. $B = V_в = \omega \rho_B$

если к ρ_B - провести перпендикуляр, то он покажет направление абсолютной скорости.


A
ω
O
V
N_T
a
m
C
F
ξ
N
N_V
V_a

Качение с образованием колеи

Пусть каток катится по полю с образованием колеи. Т. **а** перемещаясь в направлении скорости **Va** давит на соприкасающиеся 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 **Nv** и **Nт**.

$$N_т = N \operatorname{tg} \xi$$

Сила Nт стремиться заставить почвенную частицу m скользить по рабочей поверхности катка. Но этому препятствует сила F трения.

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

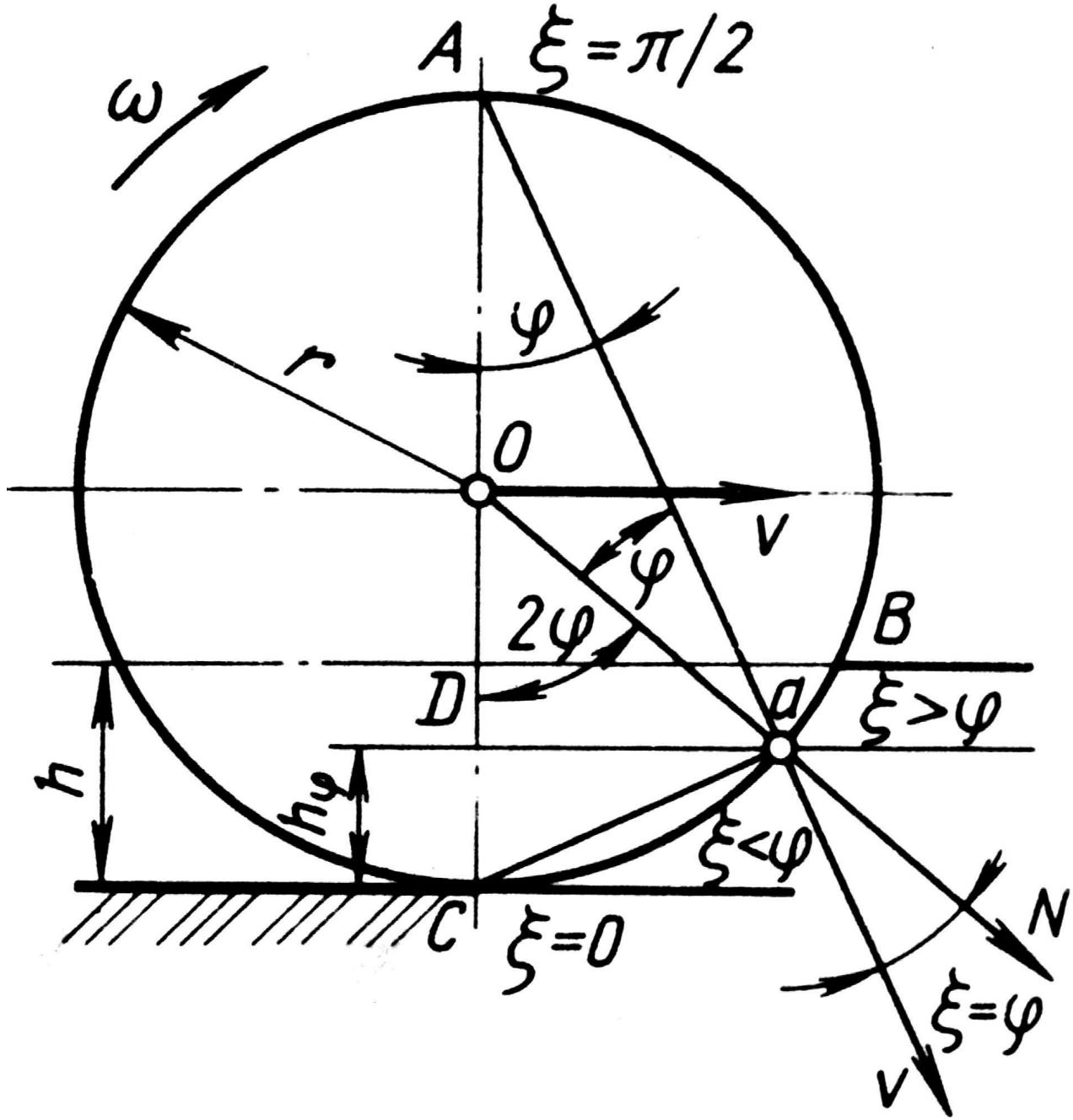
$$N_T = Ntg\xi < F_{\max} = Ntg\varphi$$

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

В этом случае силы уравновешиваются и почвенная частица m окажется лишь под действием силы N_{ϑ}, при этом частица m будет перемещаться вместе с точкой а катка, в направлении ее скорости ϑ_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 $N_T - F_{\max} = N(tg\xi - tg\varphi)$.


A
ξ=π/2
ω
φ
r
O
v
φ
2φ
B
D
a
ξ>φ
h
hφ
ξ<φ
C
ξ=0
N
ξ=φ
v

угол ξ изменится от 0 в т. **c** до $\frac{\pi}{2}$ в т. **a** в процессе возрастания от 0 до $\frac{\pi}{2}$ ξ принимает значение $\xi = \varphi$,
тогда выше т. **a** происходит скольжение почвы, а ниже т. **a** 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, **<u>т.е. при контакте частицы или комка выше точки а, где</u>** $\xi > \phi$

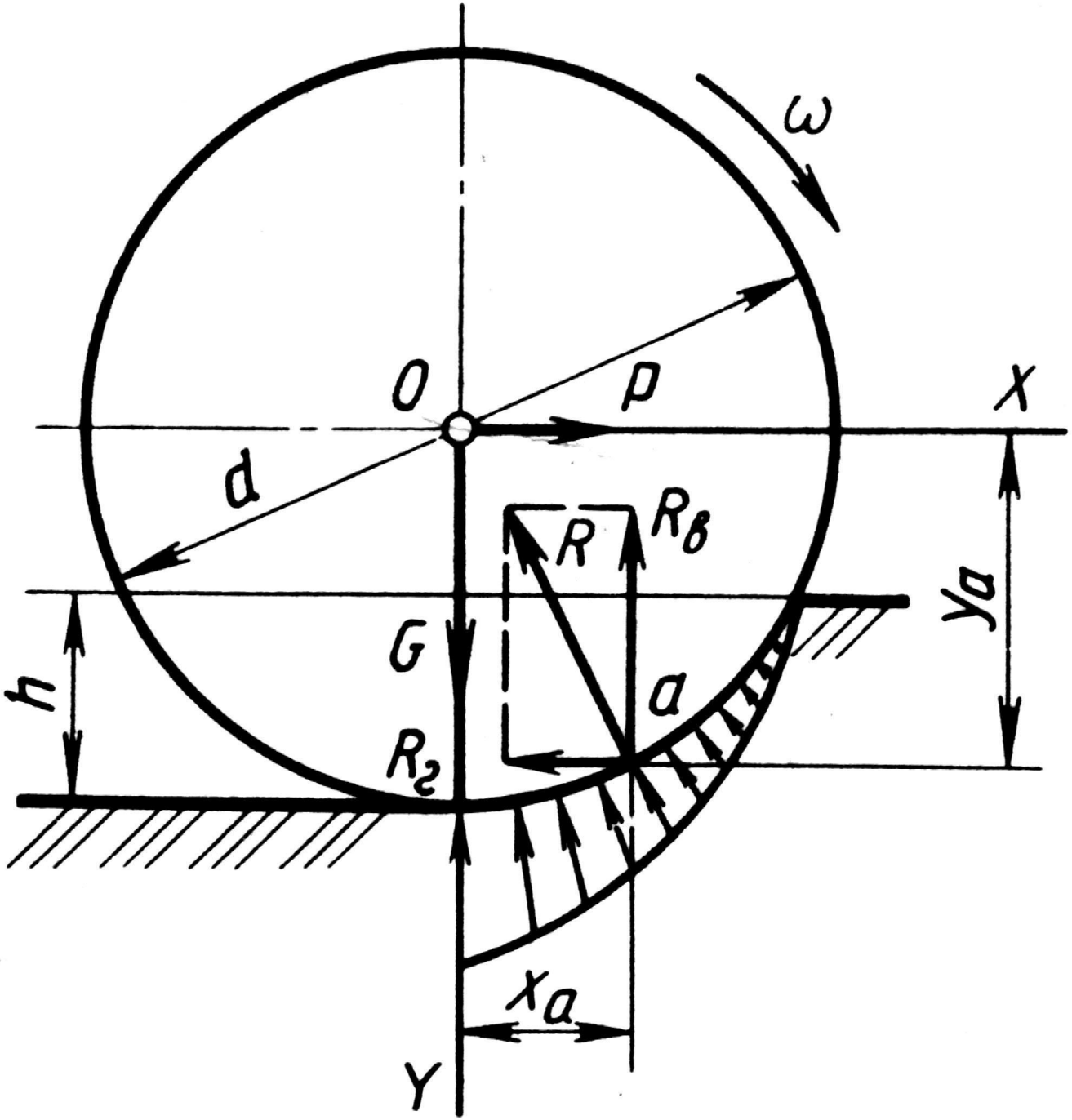
<u>будет происходить скольжение</u>, а при контакте ниже точки **а**, т.е. диаметре комка меньше предельного
будет происходить его уплотнение, **<u>т.е.</u>** **<u>вдавливание в почву или разрушение</u>**.

Сопротивление качению

Движущий момент и момент сопротивления

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

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


ω
O
p
X
d
R
$R_в$
y_a
G
h
a
$R_г$
x_a
Y

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

$$\sum x = T - Rг = 0 _(1)$$

$$\sum y = P - Rв = 0 _(2)$$

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

Из первого уравнения следует, что T=Rг; P=Rв. Следовательно на каток действует две пары сил P и Rв и T и Rг с плечом уа образуют движущий момент а вторая пара P и Rв с плечом ха момент сопротивления

Тогда из третьего уравнение системы

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

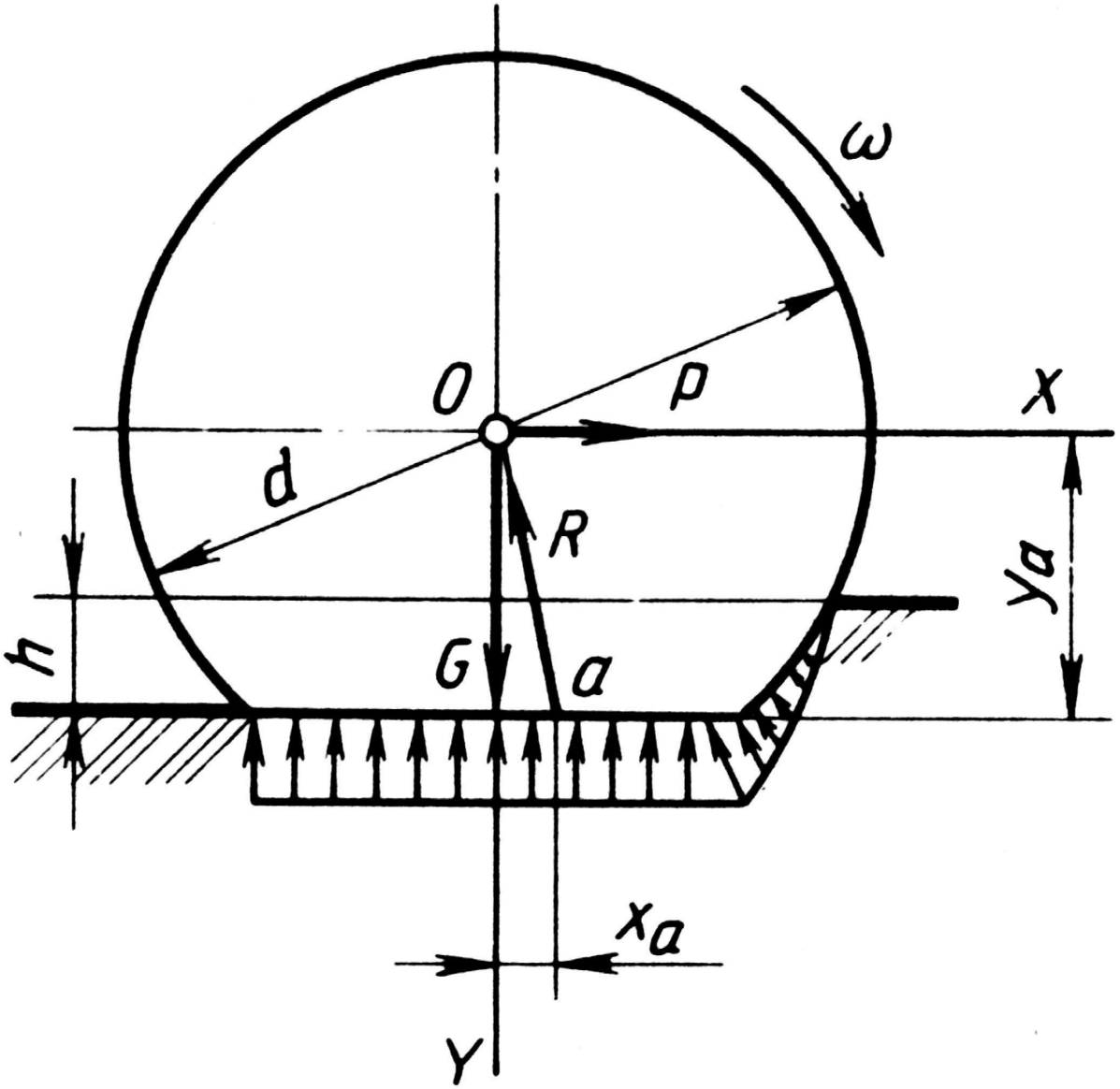
вывод

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

2)Из выражения четыре следует, что с увеличением диаметра катка Д увеличивается y_a и уменьшается сила Т.

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

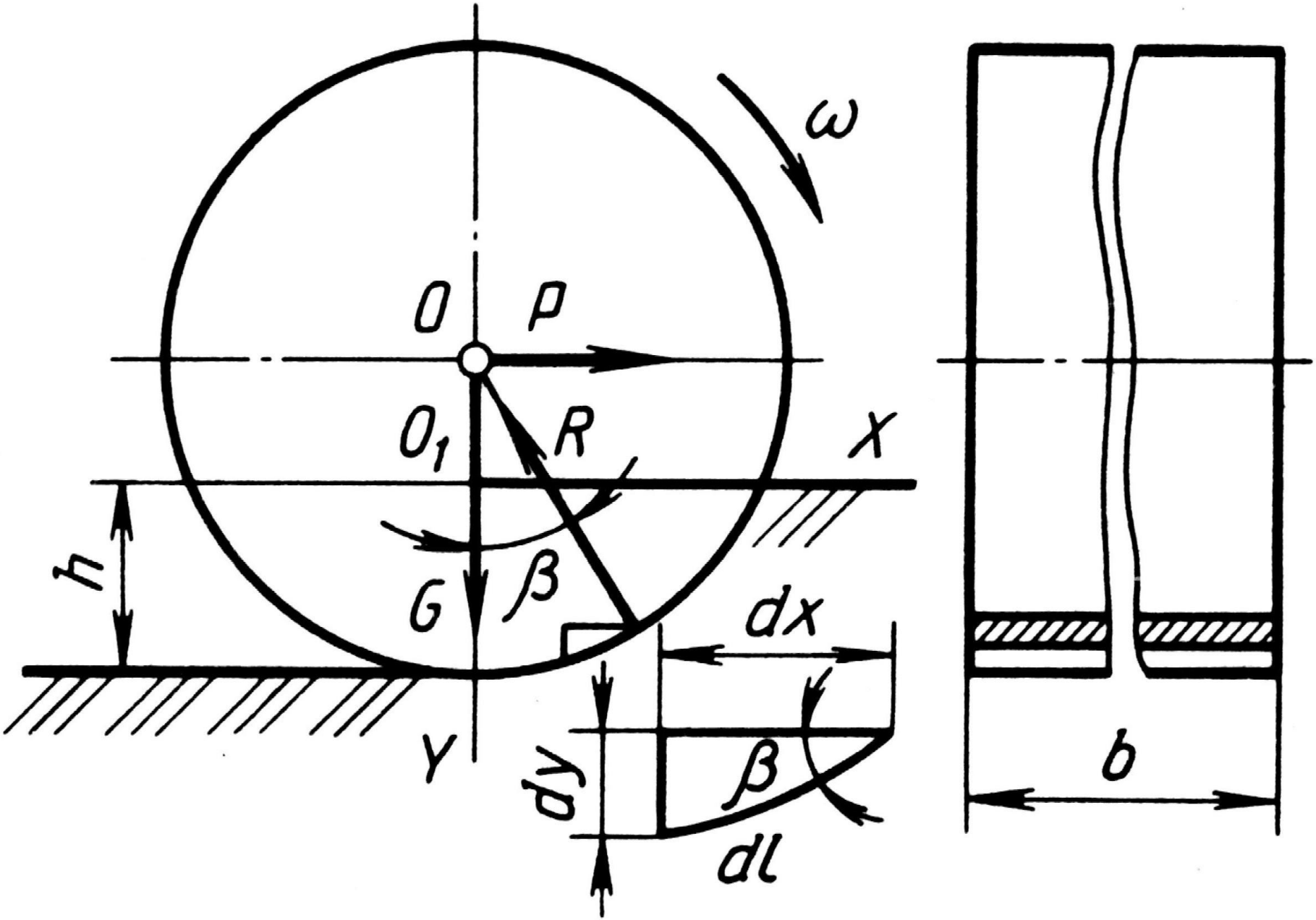
Качение пневматического колеса



3)Из рисунка и выражения следует, что для качения пневматического колеса (катка) при одинаковом диаметре Д и вертикальной нагрузки Р потребуется меньше усилие Т. Во первых вследствии 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 ободе элементарные силы реакции почвы располагаются лишь перед нижним концом вертикального диаметра, а при пневматическом ободе по обе стороны от нижнего конца диаметра. По этой причине равнодействующая элементарных сил при пневматическом ободе расположится ближе к нижнему концу диаметра (плечо ха меньше), что приведет к снижению момента сопротивления и уменьшению движущей силы Т.

Зависимость тягового сопротивления от параметров катка и свойств почвы.



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

$$dR = \sigma \, bdl, \text{ где}$$

σ - 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 = β - 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 $h = 1{,}31\sqrt{\frac{G^2}{b^2q^2d}}$.

Или $P = 0{,}86\sqrt[3]{\frac{G^4}{bqd^2}}$.

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

$\mu = 0{,}86\sqrt[3]{\dfrac{G}{qbd^2}}$, μ - коэффициент перекатывания.

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

$1/\mu$ - транспортирующая способность.

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

Причем предлагается брать:

Машины почвообработки	k =3…4
Уборочные	k =4…5
Транспортные	k =6…7

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

Для пневматических шин: $$P = C_1 G_3 \sqrt{\frac{T}{q_0 d}} + C_2 \sqrt{\frac{G^2}{T d^2}}$$

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.