

как лжетсуга тисолистная, лиственница сибирская и сосна Муррея, являются быстрорастущими породами, способными формировать за короткий срок времени древостой больших запасов древесины.

Причем при создании производственных хвойных культур в этих условиях местопроизрастания предпочтение следует отдавать ели обыкновенной, лиственнице сибирской и лжетсуге тисолистной.

А. М. Комиссаров, В. А. Новичихин

О кинематике и устойчивости колесного хода

В процессе перекаtywания жесткого колесного хода по грунту с определенными свойствами в погруженной части обода колеса можно установить три характерные области (1937).

В первой области (рис. 1), ограниченной углом θ_1 , имеет место скольжение элементов обода колеса относительно соприкасающихся частиц почвы. Во второй области, ограниченной углами $(\theta_2 - \theta_1)$, отсутствует скольжение и буксование, т. е. частицы почвы сминаются по траекториям движения точек обода. В третьей области, ограниченной углами $(\theta_3 - \theta_2)$, элементы обода пробуксовывают относительно почвы. Академик В. А. Желиговский (1937) считает, что смятие почвы происходит не по нормальям к окружности обода, а по направлению движения точек обода колеса. Исходя из этого, в областях, где отклонение направления движения точек обода от нормалей к соответствующим точкам обода колеса не превышает угла трения φ , траектории смятия частиц почвы будут выражаться уравнениями:

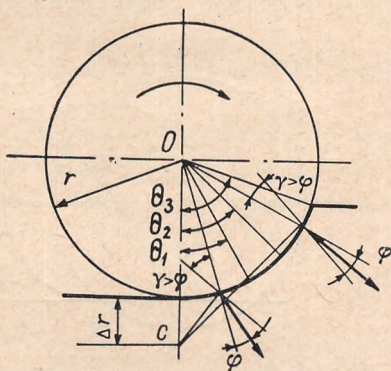


Рис. 1.

$$\left. \begin{aligned} x &= R\theta - r \cdot \sin \theta; \\ y &= r(1 - \cos \theta), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $R = r + \Delta r$.

В областях, где отклонение направления движения точек обода от нормалей превышает угол трения φ , траектории

смятия частиц почвы определяются уравнениями кривых изогональных к трактрисе:

$$\left. \begin{aligned} x + C &= r \left[\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) - \sin \theta \right]; \\ y &= r (1 - \cos \theta), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где x и y — текущие координаты точек кривых в неподвижной прямоугольной системе координат;

r — радиус колеса;

θ — угол поворота колеса;

C — произвольная постоянная уравнений семейства кривых.

В деталях идеализированная схема качения колеса рассмотрена А. А. Андреевым (1954, 1956), который приводит формулу, определяющую указанные области на ободу колеса:

$$\sigma_{2,3} = \arccos [(1 - \xi) \cos \varphi] \pm \varphi, \quad (3)$$

где $\sigma_{2,3}$ — углы, ограничивающие области I от II и II от III; ξ — коэффициент скольжения колеса.

Рассмотрим кинематику качения колеса в предположении, что мгновенный центр поворота не лежит на вертикальном

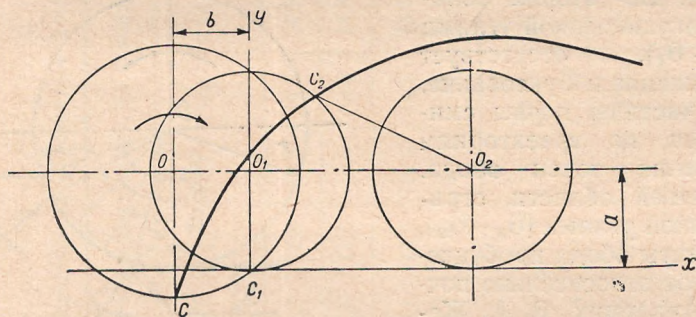


Рис. 2.

диаметре. Принятие этой общей схемы качения колеса позволяет объяснить многие явления колееобразования колесными ходами различных машин и орудий.

Уравнения траекторий движения точек колеса при расположении мгновенного центра поворота на ободу в какой-то точке C_1 (рис. 2) будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} x &= a(\theta - \lambda \sin \theta) + \xi_C a \theta + C; \\ y &= a(1 - \lambda \cos \theta) - v_n t_\theta, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где x и y — текущие координаты траекторий в неподвижной системе координат $x_{C_1}y$;

- a — величина, определяющая положение на ободу колеса мгновенного центра поворота (радиус фиктивного колеса);
 ξ_C — коэффициент скольжения фиктивного колеса, определяющий величину горизонтального перемещения точки C_1 ;
 $v_n t_\Theta$ — величина вертикального перемещения точки C_1 за время t_Θ ;
 t_Θ — время, за которое колесо повернется на угол Θ ;
 v_n — скорость вертикального перемещения (погружения в среду) точки C_1 ;
 λ — коэффициент, учитывающий изменение расстояния точек обода от оси вращения O_1 .

Характер изменения входящих в уравнение (4) величин a , ξ_C и v_n находится в сложной зависимости от многих факторов (свойств среды, скорости качения, размеров и состояния опорной поверхности колеса).

При установившемся движении радиус фиктивного колеса a будет постоянной величиной, зависящей от координат точки приложения к ободу равнодействующей сил сопротивления среды качению колеса. Если в силу каких-то причин точка приложения равнодействующей будет перемещаться, то соответственно этому будет изменяться величина a . При этом будут принимать другие значения и величины ξ_C и v_n .

Коэффициент ξ_C определяет скольжение фиктивного колеса. Для ведомого колеса всегда $\xi_C > 0$. Для действительного колеса, катящегося без скольжения, коэффициент скольжения фиктивного колеса определяется из равенства

$$a\Theta + \xi_C a\Theta = r\tau, \quad (5)$$

где r — радиус действительного колеса;

τ — угол поворота действительного колеса, соответствующий углу Θ .

При качении действительного колеса со скольжением ($\xi \neq 0$) коэффициент скольжения фиктивного колеса будет определяться из соотношения

$$a\Theta + \xi_C a\Theta = \xi r\tau + r\tau. \quad (6)$$

Расстояние (ρ) точек обода до центра вращения фиктивного колеса O_1 , определяющее λ , можно найти из следующих соотношений (см. рис. 3):

$$\left. \begin{aligned} \rho \sin \Theta &= b - r \sin \tau; \\ \rho \cos \Theta &= r \cos \tau. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

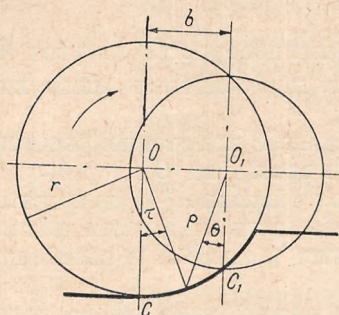
Исключив из системы (7) угол τ , получим уравнение

$$\rho^2 - 2b\rho \sin \Theta - (r^2 - b^2) = 0, \quad (8)$$

откуда

$$\rho = b \sin \Theta \pm \sqrt{r^2 - b^2 \cos^2 \Theta}. \quad (9)$$

В характерных точках величина ρ принимает значения:



Р и с. 3.

$$\rho_{\Theta=0} = a;$$

$$\rho_{\Theta=0,5\pi} = b + r;$$

$$\rho_{\Theta=\pi} = \sqrt{r^2 - b^2} = a;$$

$$\rho_{\Theta=1,5\pi} = b - r;$$

$$\rho_{\Theta=2\pi} = \sqrt{r^2 - b^2} = a.$$

Учитывая соотношение

$$\rho = \lambda \cdot a, \quad (10)$$

уравнения системы (4) можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} x &= a\theta(1 + \xi_C) - (b \sin \Theta \pm \sqrt{r^2 - b^2 \cos^2 \Theta}) \sin \Theta; \\ y &= a - v_n t_\theta - (b \sin \Theta \pm \sqrt{r^2 - b^2 \cos^2 \Theta}) \cos \Theta. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Уравнение системы (4) можно выразить через угол τ . Необходимые для этого формулы получаются из соотношения (7):

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \sqrt{b^2 - 2br \sin \tau + r^2}; \\ \Theta &= \arctg \frac{b - r \sin \tau}{r \cos \tau}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В уравнениях систем (5) и (11) время t_θ можно найти из равенства

$$x = v_\mu \cdot t_\theta, \quad (13)$$

где v_μ — поступательная скорость движения колеса в направлении горизонтальной оси.

С учетом уравнения (13) можно найти

$$\begin{aligned} y &= a - (b \sin \Theta \pm \sqrt{r^2 - b^2 \cos^2 \Theta}) \cos \Theta - \frac{v_n}{v_\mu} [a\theta(1 + \xi_C) - \\ &\quad - (b \sin \Theta \pm \sqrt{r^2 - b^2 \cos^2 \Theta}) \sin \Theta]. \end{aligned} \quad (14)$$

Остановимся кратко на тех выводах, которые вытекают из рассмотрения изложенной кинематической схемы и полученных формул (11) и (14).

Скольжение (ξ) колеса и положение мгновенного центра поворота (b) оказывают влияние как на вертикальные (y), так и на горизонтальные (x) перемещения точек обода колеса. Согласно идеализированной кинематической схеме, вертикальные перемещения не зависят от скольжения колеса.

На вертикальные перемещения точек обода колеса оказывают влияние скорость v_n горизонтального движения колеса (машины) и скорость v_n вертикального погружения колеса в среду. Последняя зависит от свойств почвы, размеров колеса, нагрузки на колесо, состояния опорной поверхности.

Установившийся режим качения (качение с постоянной глубиной колеи) будет в том случае, если равны скорости погружения v_n и вертикальная составляющая $(v_{C_1})_y$ и скорости точки C от поворота вокруг центра C_1 . При $v_n > (v_{C_1})_y$ глубина колеи растёт, при $v_n < (v_{C_1})_y$ — уменьшается. Соответственно изменению глубины колеи изменяется угол охвата погруженной части обода колеса, перемещается точка приложения равнодействующей сил сопротивления среды и, следовательно, смещается центр поворота (a, b).

По мере удаления точек обода от центра поворота C_1 их скорости (без учета v_n и ξ_C) движения $\frac{d(y - v_n t_\theta)}{d\theta}$ и $\frac{d(x - a\theta\xi)}{d\theta}$ растут пропорционально величине ρ .

При устойчивом движении колеса в вертикальной плоскости для нижней точки обода будет соблюдаться уравнение

$$\frac{d(y - v_n t_\theta)}{d\theta} - v_n = 0. \quad (15)$$

Угол охвата погруженной части обода, кроме всего прочего, будет зависеть от скорости восстановления упругих деформаций ($v_{обр}$) среды. В той точке задней погруженной части обода, в которой будет иметь место условие

$$-\frac{dy}{d\theta} + v_{обр} = 0, \quad (16)$$

произойдет отделение опорной поверхности от среды. Угол погружения за счет влияния восстановления упругих дефор-

маций будет тем больше, чем выше скорость $v_{обр}$ и ниже скорость

$$\frac{dy}{d\theta} = f(v_{\mu}).$$

С перемещением центра поворота колеса C_1 происходит изменение угла наклона траектории движения точек обода. Если центр поворота смещается вперед по ходу движения колеса, то справа от точки C_1 этот угол уменьшается, а слева — увеличивается. Соответственно этому происходит изменение в размерах областей (рис. 4), характеризующихся наличием скольжения по ободу контактных частиц среды в областях I и III и отсутствием скольжения в области II.

При устойчивом движении в вертикальном направлении ($y_{\max} = \text{const}$) границы областей смятия будут определяться уравнением (3) и для рассмотренной нами кинематической

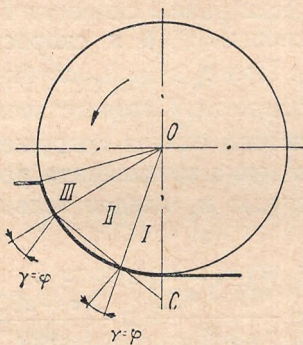


Рис. 4.

схемы качения. Здесь имеется в виду, что будут эквивалентны по величине и направлению суммарные перемещения по идеализированной схеме (поворот вокруг мгновенного центра поворота C , расположенного на нижнем конце вертикального диаметра, и поступательное перемещение колеса вдоль горизонтальной оси $y' = v_n t_{\theta}$) и по предложенной схеме (поворот вокруг мгновенного центра вращения C_1 , располо-

женного на нижнем конце какого-то наклонного диаметра, поступательное перемещение колеса вдоль горизонтальной оси $x' = a\theta + \xi_C a\theta = r\tau + \xi r\tau$ и поступательное перемещение колеса вдоль вертикальной оси $y' = v_n t_{\theta}$). Условием (15) определяется положение мгновенного центра поворота, обеспечивающее эквивалентность указанных перемещений.

Существующие схемы качения ведомого колеса не отражают влияния скорости качения, релаксационных свойств почвогрунтов и некоторых других факторов на изменение глубины колеи в процессе качения.

Предложенная кинематическая схема качения колеса раскрывает природу влияния динамических факторов на процесс колееобразования.

Предложенная схема качения колеса позволит обоснованно выбирать параметры и скорость движения ведомых колесных ходов с учетом физико-механических свойств почвогрунтов.