

УДК 621.8.78

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА  
С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОВШЕЙ  
И ЕГО КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ**

*Б.О. Ускембаева, А.А. Каипова, А.А. Утешибаева,  
Е.М. Мажиев, Э.Х. Абдрасилова, Ж. Камархан*

Предложены алгоритм и программа расчета траектории РП ротора при циклоидальном перемещении ковшей, а также математическая модель динамики движения роторного реактора с циклоидальным движением ковшей. Получено дифференциальное уравнение колебаний роторного реактора при циклоидальном движении ковшей относительно центра масс (уравнение физического маятника). Скорость резания определена с учетом динамики циклоидального движения. При рациональном соотношении скорости вращения испытываемого ротора и движения машины для отчистки щебня могут определяться при условиях заполнения ковша за время его движения на поверхность, с учетом таких величин, как ширина балластовой призмы и ее высота, а также с учетом коэффициента разрыхления почвы и коэффициента заполнения ковшей.

*Ключевые слова:* скорость резания; рабочий орган РО; дифференциальное уравнение колебаний; конструктивные особенности.

---

**ЦИКЛОИДДИК КЫЙМЫЛДАГЫ СУЗГУЧТАРЫ БАР РОТОРДУК ЖУМУШЧУ  
ОРГАНДЫН ПАРАМЕТРЛЕРИН ЖАНА АНЫН КИНЕМАТИКАЛЫК  
ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮН НЕГИЗДӨӨ**

*Б.О. Ускембаева, А.А. Каипова, А.А. Утешибаева,  
Е.М. Мажиев, Э.Х. Абдрасилова, Ж. Камархан*

Макалада сузгучтардын циклоиддик кыймылы менен ротордун РП траекториясын эсептөөнүн алгоритми жана программасы, ошондой эле сузгучтардын циклоиддик кыймылы менен айлануучу реактордун кыймылынын динамикасынын математикалык модели сунуш кылынган. Массалык борборго карата сузгучтардын циклоиддик кыймылында ротордук реактордун термелүүсүнүн дифференциалдык теңдемеси алынган (физикалык маятниктин теңдемеси). Кесүү ылдамдыгы циклоиддик кыймылдын динамикасын эске алуу менен аныкталат. Сыноодогу ротордун айлануу ылдамдыгы жана майдаланган ташты тазалоочу машинанын кыймылы алардын рационалдуу катышында балластык призманын туурасы жана анын бийиктиги сыяктуу чоңдуктарды, ошондой эле топуракты жумшартуу коэффициентин жана сузгучтарды толтуруу коэффициентин эске алуу менен, жер бетине кыймылдоо учурунда чаканы толтуруу шарттарында аныкталышы мүмкүн.

*Түйүндүү сөздөр:* кесүү ылдамдыгы; жумушчу орган; термелүүлөрдүн дифференциалдык теңдемеси; конструктивдүү өзгөчөлүктөрү.

---

**SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF A ROTARY WORKING BODY  
WITH A CYCLOIDAL MOVEMENT OF BUCKETS AND ITS KINEMATIC FEATURES**

*B.O. Uskembayeva, A.A. Kaipova, A.A. Uteshbayeva,  
E.M. Mazhiev, E.Kh. Abdrassilova, Zh. Kamarkhan*

An algorithm and a program for calculating the trajectory of the RP of the rotor at cycloidal movement of buckets are proposed. A mathematical model of the dynamics of motion of a rotary reactor with cycloidal movement of ladles

is proposed. The differential equation of oscillations of the rotor rotor at cycloidal movement of buckets relative to the center of mass (the equation of a physical pendulum) is obtained. The cutting speed is determined taking into account the dynamics of the cycloidal movement, the rotor oscillations are equal, expressed by the equation. With a rational ratio of the rotation speed of the tested rotor and the movement of the machine for cleaning crushed stone can be determined under conditions of filling the bucket during its movement to the surface, taking into account such quantities: as the width of the ballast prism and its height, as well as taking into account the coefficient of soil loosening and the filling factor of the buckets.

**Keywords:** cutting speed; working body RO; differential equation of oscillations; rotor axes; design features.

Траектория резания вращающегося рабочего РО при циклоидальном перемещении ковшей формируется в результате совмещения поступательного движения щебеноочистки со скоростью  $v_{\text{маш}}$  и вращательного движения ротора со скоростью  $\omega_p$  (рисунок 1). Направление вращательного движения в нижней части ротора совпадает с направлением поступательного движения машины, а в верхней части противоположно ему [1].

В каждый момент движения РО в некоторой точке, находящейся на расстоянии от оси ротора вверх, скорость поступательного и вращательного движения уравнивается. Последовательные положения этой точки образуют прямую линию, параллельную поверхности решетки на расстоянии от траектории оси ротора. Поэтому траекторию резания можно представить в виде замкнутой кривой с отрезками прямой равной длины, образованной конструктивными особенностями роторного механизма [2].

Траектории описываются точкой  $M$  на продолжении радиуса катящегося круга, на расстоянии  $L$  от его центра. Уравнение траектории резания в принятой системе координат:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_{\text{маш}} \cdot t - c + e \cdot \cos(\omega_1 t) + l \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ z &= -H_{\text{о.п.}} - (e \cdot \sin(\omega_1 t) + l \cdot \sin(\omega \cdot t)) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $v_{\text{маш}}$  – скорость движения ротора РО при циклоидальном движении ковшей;  $t$  – время, отсчитываемое от момента нахождения режущих кромок рассматриваемого ковша в точке  $K$ , на уровне дна балластной призмы;  $c$  – вылет оси вращения ротора;  $H_{\text{о.п.}}$  – разность уровней платформы щебеноочисточной машины и оси вращения ротора;  $\omega_1$  – угловая скорость носителя;  $e$  – эксцентриситет;  $L$  – расстояние от центра оси колеса до края ковша.

Расстояние от точки  $O$  до  $M$  – это  $L$  (расстояние от центра оси колеса до края ковша) (рисунок 2):

$$L = OM = \sqrt{(R - r)^2 + l'^2 - 2(R - r) \cdot l \cdot \cos(\phi_1 - \phi)}, \quad (2)$$

где  $r$  – радиус сателлита;  $l'$  – расстояние от  $O_1$  до точки  $M$ ;  $R$  – радиус шестерни;  $\phi$  – угол поворота сателлита;  $\phi_1$  – угол поворота эксцентриситета (несущей).

Глубина отделенного балласта:

$$H = L + H_{\text{о.п.}} - H_{\text{пл}}, \quad (3)$$

где  $H_{\text{пл}}$  – высота платформы.

Шаг траектории резания каждым из ковшей роторного РО при циклоидальном движении ковшей – это гипоциклоиды, измеренные в направлении движения очистителя щебня.

Длина одной гипоциклоиды из пяти определяется по уравнению:

$$\left. \begin{aligned} x &= \phi(t) \\ y &= \psi(t) \end{aligned} \right\},$$

$$l_0 = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{[\phi'(t)]^2 + [\psi'(t)]^2} dt,$$

$$\left. \begin{aligned} x &= (R-r)\cos\phi + r\cos\left[\frac{(R-r)}{r}\phi\right] \\ y &= (R-r)\sin\phi - r\sin\left[\frac{(R-r)}{r}\phi\right] \end{aligned} \right\},$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{d\phi} &= -\left\{ (R-r)\sin\phi + \frac{r^2}{(R-r)}\sin\left[\frac{(R-r)}{r}\phi\right] \right\} \\ \frac{dy}{d\phi} &= (R-r)\cos\phi - \frac{r^2}{(R-r)}\cos\left[\frac{(R-r)}{r}\phi\right] \end{aligned} \right\},$$

$$\alpha = \left(\frac{R-r}{r}\right)\phi,$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{dx}{d\phi}\right)^2 &= (R-r)^2 \sin^2\phi + 2r^2 \sin\phi \sin\phi + (R-r)\sin\phi + \left[\frac{r^2}{(R-r)}\right]^2 \sin^2\alpha \\ &+ \\ \left(\frac{dy}{d\phi}\right)^2 &= (R-r)^2 \cos^2\phi - 2r^2 \cos\phi \cos\phi + \left[\frac{r^2}{(R-r)}\right]^2 \cos^2\alpha \end{aligned} \right\},$$

$$\begin{aligned} &(R-r)^2 - 2r^2[\sin\phi \sin\phi - \cos\phi \cos\phi] + \left[\frac{r^2}{(R-r)}\right]^2 = \\ &= \frac{(R-r)^4 + r^4}{(R-r)^2} - 2r^2[\sin\phi \sin\phi - \cos\phi \cos\phi] = \\ &= \left| \frac{(R-r)^4 + r^4}{(R-r)^2} = p; \quad 2r^2 = q \right| = p - q[\sin\phi \sin\phi - \cos\phi \cos\phi] \end{aligned}$$

$$l_0 = \int_0^{2\pi} \sqrt{p - q(\sin\phi \sin\phi - \cos\phi \cos\phi)} d\phi, \tag{4}$$

$$\left. \begin{aligned} \sin\phi \sin\phi &= \frac{1}{2}[\cos(\phi - \alpha) - \cos(\phi + \alpha)] \\ \cos\phi \cos\phi &= \frac{1}{2}[\cos(\alpha + \phi) + \cos(\phi - \alpha)] \end{aligned} \right\},$$

$$l_0 = \int_0^{2\pi} \sqrt{p - q \cos\left(\frac{R}{r}\phi\right)} d\phi, \tag{5}$$

$$l_0 = \hat{l}.$$

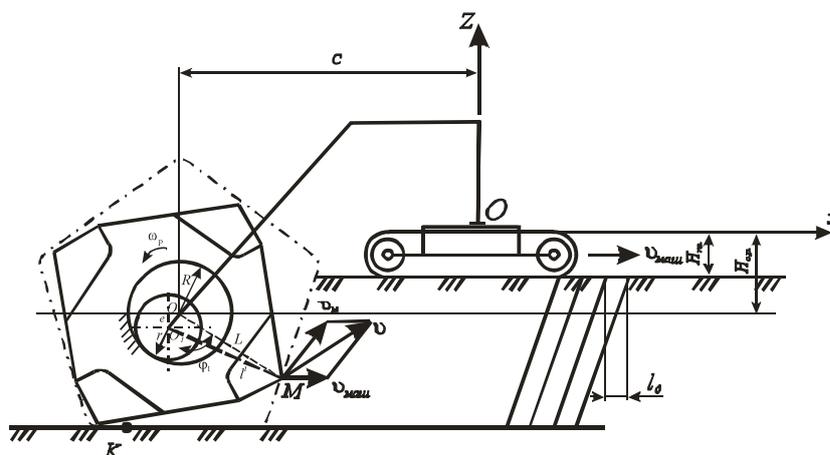


Рисунок 1– Расчетная схема привода машины для очистки щебня

Шаг последовательных траекторий резания:

$$l = \frac{l_0}{n_k},$$

где  $n_k$  – количество ковшей [3, 4].

Скорость резания  $\mathcal{G}_{рез}$  регулируется. При повороте ротора на угол  $\phi_1 = \omega_1 t$ , где  $\omega_1$  – угловая скорость вращения сателлита.

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= v_{маш} - e\omega_1 \sin(\omega_1 t) - l\omega \sin(\omega t) \\ \dot{z} &= -e\omega_1 \cos(\omega_1 t) - l\omega \cos(\omega t) \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

$$v_{рез} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}, \quad (7)$$

$$v_{рез} = \sqrt{v_{маш}^2 - 2v_{маш}(e\omega_1 \sin(\omega_1 t) + l\omega \sin(\omega t)) + e^2\omega_1^2 + l^2\omega^2 - 2e\omega_1 l\omega \cos(t(\omega_1 + \omega))}. \quad (8)$$

Зависимость частоты вращения ротора РО и движения машины для очистки щебня:

$$n_k \cdot l = v_{маш} \cdot t,$$

$$n_k \cdot v_{рез} \cdot t = v_{маш} \cdot t.$$

Сокращая  $t$ , получаем:

$$n_k \cdot v_{рез} = v_{маш}.$$

Равенство углов резки (рисунок 2):

$$\delta = \delta_1 + \arctg k - \phi_1. \quad (9)$$

Толщина срезаемого слоя в каждой точке траектории на (рисунок 3) от треугольника:

$$h = \frac{\uparrow e}{n_k} \sin(\arctg k) \quad (10)$$

или

$$h = \frac{l_0}{n_k} \sin(\operatorname{arctg} k) = \frac{l_0}{n_k} \frac{k}{\sqrt{1+k^2}}. \quad (11)$$

Рациональное соотношение скоростей вращения предлагаемого ротора и движения машины для очистки щебня определяется из условия заполнения каждого ковша за время его движения в балласте на поверхность:

$$q_{\Gamma} = \frac{\uparrow e}{n_k} B H, \quad (12)$$

где  $B$  – ширина балластной призмы (слой щебня);  $H$  – высота балластной призмы (слой щебня) или

$$q_{\Gamma} = \frac{\uparrow B H v_{\text{маш}}}{n_k \omega_p}, \quad (13)$$

откуда угловая скорость ротора:

$$\omega_p = v_{\text{маш}} \frac{\uparrow \cdot B H k_{\text{раз}}}{n_k q_{\Gamma} k_{\text{нан}}} \quad (14)$$

или

$$\omega_p = \frac{\uparrow \cdot \Pi k_{\text{раз}}}{n_k q_{\Gamma} k_{\text{нан}}}, \quad (15)$$

$$\Pi = (v_{\text{маш}} \cdot B H),$$

где  $\Pi$  – производительность поворотного РО с циклоидальным перемещением ковшей;  $k_{\text{раз}}$  – коэффициент разрыхления почвы;  $k_{\text{нан}}$  – коэффициент заполнения ковшей.

Диаметр ротора:

$$D_p = (1,75 \div 1,85) H, \quad (16)$$

где  $H$  – наибольшая глубина резания щебеночного слоя.

Шаг ковша равен:

$$T_k = \frac{\uparrow}{n_k}, \quad (17)$$

где  $n_k$  – число ковшей [5].

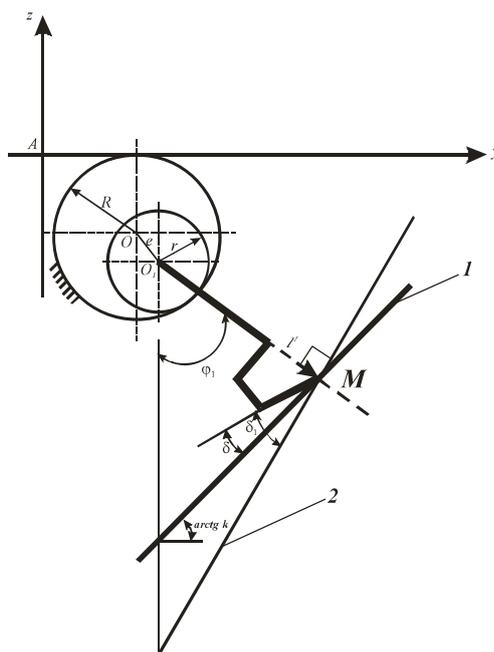


Рисунок 2 – Схема определения угла резания:  
1 – по касательной к траектории резания; 2 – касательная к ротору

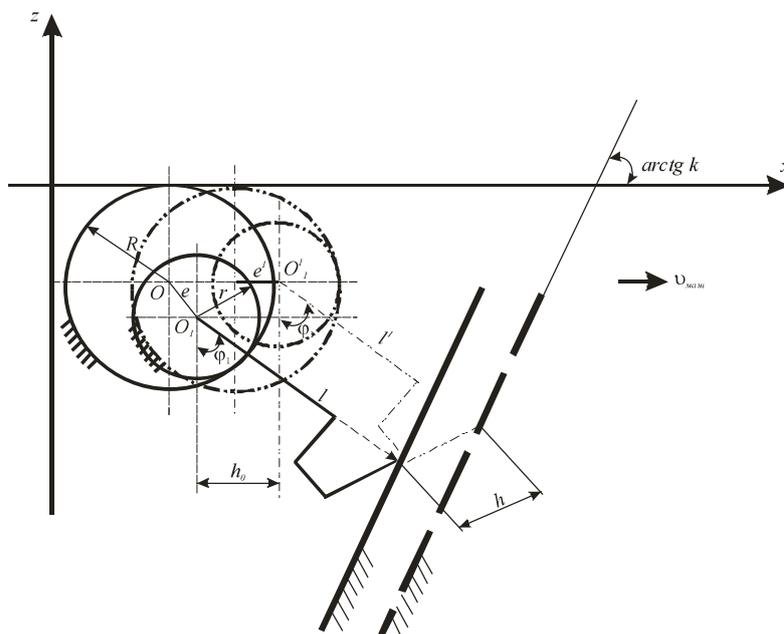


Рисунок 3 – Схема определения толщины срезаемого слоя

**Выводы.** Проведя анализ конструкций РО с циклоидальным движением ковшей в зависимости от кинематических параметров, определили скорость резания, выраженную уравнением с учетом динамики циклоидального движения и колебания ротора, в результате чего был предложен алгоритм расчета и математическая модель.

*Литература*

1. *Баловнев В.И.* Создание дорожно-строительных машин с интеллектуальным управлением / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // *Строительные и дорожные машины*. 2014. № 2. С. 57–60.
2. *Баловнев В.И.* Снижение рисков использования землеройной техники вне оптимальных условий эксплуатации / В.И. Баловнев // *Механизация строительства*. 2015. № 5. С. 52–54.
3. *Баловнев В.И.* Определение параметров фрезерно-гранулирующего смесительного агрегата ресайклера / В.И. Баловнев // *Механизация строительства*. 2015. № 2. С. 16–19.
4. *Баловнев В.И.* Новые методы расчета сопротивлений резанию грунтов инновационными рабочими органами / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // *Механизация строительства*. 2016. № 7. С. 5–13.
5. *Баловнев В.И.* Определение параметров и выбор транспортно-технологических машин по критерию минимальной стоимости единицы продукции / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, В.Я. Дворковой // *Механизация строительства*. 2016. № 12. С. 32–37.