

УДК 631.316.6 + 631.319.2

## ПАРАМЕТРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ХОДА ПОЧВОБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА

<sup>1</sup>Анутов Р.М., <sup>2</sup>Котельников В.Я., <sup>3</sup>Козьявин А.А., <sup>2</sup>Котельников А.В., <sup>1</sup>Тищенко Д.Е.

<sup>1</sup>Грязинский культиваторный завод, Грязи;

<sup>2</sup>Юго-Западный госуниверситет, Курск, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>КГСХА, Курск

Даны исследования эксплуатационной и технологической устойчивости комбинированных машин и сепарирующих рабочих органов культиватора.

**Ключевые слова:** культиваторы, эксплуатационная и технологическая устойчивость машин

## PARAMETERS OPERATION'S STABILITY OF PLOWING OUTFIT

<sup>1</sup>Anutov R.M., <sup>2</sup>Kotelnikov V.Y., <sup>3</sup>Kozyavin A.A., <sup>2</sup>Kotelnikov A.V., <sup>1</sup>Tishchenko D.E.

<sup>1</sup>Gryazinsky cultivator plant, Gryazi;

<sup>2</sup>Southwestern State University, Kursk, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>KGSKHA, Kursk

The article is about the research of exploitation and technological stability of combined machines and separate working tools of cultivator.

**Keywords:** cultivators, exploitation and technological stability machines

Особенность работы комбинированных машин состоит в том, что в процессе выполнения рабочего процесса они получают неравномерную нагрузку от рельефа, вращающихся массивных неуравновешенных роторов, тракторного двигателя и др. Изучение факторов, влияющих на устойчивость хода комбинированных агрегатов, позволяет разработать и установить технические приемы повышения качества функционирования современных почвообрабатывающих и посевных машин [1, 2].

Практика эксплуатации машин и теоретические исследования показывают, что давление на опоры снижаются при уменьшении весовых характеристик агрегата и симметричной установки основных рабочих органов. Расчет устойчивости хода определяется параметрами равномерности глубины обработки почвы по ширине и прямолинейности движения агрегата вдоль линии тяги, виртуальных перемещений. Положение центра тяжести агрегата в пространстве в любой момент времени определяется тремя перемещениями вдоль оси координат  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  и тремя поворотами вокруг этих же осей. Для определения равномерности хода рабочих органов по глубине рассмотрим устойчивость хода агрегата в продольно-вертикальной плоскости. Исходя из агротехнических требований, глубина хода  $h$  рабочих органов имеет допустимые отклонения  $\pm \Delta h$ .

Комбинированные агрегаты включают лапы с жестким или шарнирным креплением стоек на раме, ротационные катки на шарнирной подвеске с автономным копированием ре-

льефа, выравнивающие устройства и др. Они находятся под воздействием приведенной силы сопротивления почвы  $R$ , которую разложим на горизонтальную и вертикальную реакции  $R_x$  и  $R_y$ , вес рабочего органа  $G = mg$  и добавочный конструктивный вес агрегата  $Q_a$ , приходящийся на один рабочий орган, реакции сил тяги в шарнирах, которую разложим на две составляющие  $X_d$  и  $Y_d$ .

Силы реакции почвы  $R_x$  и  $R_y$  меняются в зависимости от влажности переменной плотности почвы, остальные силы являются постоянными, либо они изменяются в малых пределах. Закономерности изменения возмущающего момента на устойчивость хода рабочих органов можно установить по переменному углу  $q$ .

Составим дифференциальное уравнение движения агрегата, воспользовавшись уравнением Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} = Q_{\theta}.$$

Проекция скорости перемещения центра масс на оси координат определим из уравнений:

$$\dot{x}_1 = v_a - l_c \cos(\theta_0 + \theta) \cdot \dot{\theta} - H_c \sin(\theta_0 + \theta) \cdot \dot{\theta};$$

$$\dot{y}_1 = l_c \sin(\theta_0 + \theta) \cdot \dot{\theta} - H_c \cos(\theta_0 + \theta) \cdot \dot{\theta}.$$

Значения кинетической энергии  $T$  найдем из уравнения Штейнера:

$$T = \frac{1}{2} m v_a^2 + \frac{1}{2} J_0 \dot{\theta}^2,$$

где  $m$  – масса системы;  $v_a$  – скорость центра масс агрегата;  $J_0$  – момент инерции систе-

мы относительно оси, проходящей через центр тяжести перпендикулярно к плоско-

сти рамы и линии движения агрегата;  $Q_q$  – обобщенная сила.

Уравнение Лагранжа можно записать через параметры динамической системы:

$$\frac{d}{dx} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} = ml_c v_a \sin(\theta_0 + \theta) - mH_c v_a \cos(\theta_0 + \theta) + m(l_c^2 + H_c^2) \cdot \ddot{\theta} + J_0 \ddot{\theta}.$$

Тогда

$$J_n \ddot{\theta} = Q_\theta,$$

где  $J_n = m(l_c^2 + H_c^2) + J_0$ .

В уравнении виртуальной работы действующих на систему сил, коэффициент

$$M_R = R_x H \cos \theta - R_x l \cos(\theta_0 + \theta) - R_y H \sin \theta - R_y l \sin(\theta_0 + \theta) - Gl_c \sin(\theta_0 + \theta) - GH_c \cos(\theta_0 + \theta) - Ql_1,$$

где  $l$  – длина шарнирной рамы для крепления рабочих органов к общей раме агрегата;  $l_c$  – расстояние от точки прицепа до центра тяжести секции рабочих органов;  $l_1$  – расстояние от точки прицепа агрегата до точки приложения дополнительной нагрузки;  $H$  – высота рамы для крепления рабочих органов;  $H_c$  – расстояние от рамы

при виртуальном перемещении является обобщенной силой.

$$M_R \delta \theta = Q_\theta \delta \theta,$$

где  $M_R$  – суммарный момент всех сил, приложенных к раме агрегата относительно точки крепления рабочих органов.

агрегата до центра тяжести рабочих органов;  $R_x, R_y$  – соответственно горизонтальная и вертикальная сила сопротивления рабочих органов;  $G$  – вес рабочих органов;  $Q$  – дополнительная догрузка рабочих органов.

После преобразования синуса и косинуса двойного угла получим

$$M_R = (R_x H + R_x l \cos \theta_0 - R_y l \sin \theta_0 - Gl_c \sin \theta_0 + GH_c \cos \theta_0) \cos \theta - (R_y l_c \cos \theta_0 + Gl_c \cos \theta_0 + R_y H + GH_c \sin \theta_0 + R_x l \sin \theta_0) \sin \theta - Ql_1.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= R_x H + R_x l \cos \theta_0 - R_y l \sin \theta_0 - Gl_c \sin \theta_0 + GH_c \cos \theta_0; \\ \sigma_2 &= R_x l \sin \theta_0 + R_y l_c \cos \theta_0 + Gl_c \cos \theta_0 + R_y H + GH_c \sin \theta_0; \\ \sigma_3 &= Ql_1. \end{aligned}$$

Заменяя алгебраические полиномы значениями  $s_1, s_2, s_3$ , получим обобщенную силу:

$$M_R = s_1 \cos q - s_2 \sin q - s_3.$$

Интегрирование дает:

$$\frac{1}{2} \psi^2 = \frac{1}{J_n} (\sigma_1 \sin \theta + \sigma_2 \cos \theta - \sigma_3 + C_1).$$

$$\theta = \frac{R_x(H + l \cos \theta_0) - R_y l \sin \theta_0 - Gl_c \sin \theta_0 + GH_c \cos^{-1} \theta_0 - Ql_1}{R_x l \sin \theta_0 + R_y(H + l \cos \theta_0) - Gl_c \cos \theta_0 + GH_c \sin \theta_0} \times \left[ 1 - \cos \theta \sqrt{\frac{R_x l \sin \theta_0 + R_y(H + l \cos \theta_0) - Gl_c \cos \theta_0 + GH_c \sin \theta_0}{J_n}} \cdot t \right]$$

Это уравнение определяет закон изменения углов отклонения рам комбинированных агрегатов в зависимости от его размеров и режимных параметров. Подставляя значения параметров в это уравнение, можно определить их влияние на устойчивость хода агрегата. Для различных комбинированных машин их продольная база изменяется от 3 до 6 м. В равных условиях на качество копирования рельефа влияет, прежде всего, момент инерции агрегата, т. е. при

Время поворота рамы в виде

$$t = \sqrt{\frac{J_n}{\sigma_2}} \left\{ \pi - \arccos \left[ \frac{\sigma_2 \theta - (\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_1 - \sigma_3} \right] \right\}.$$

Значения угла  $q$ :

увеличении продольной базы агрегата момент инерции возрастает пропорционально квадрату радиуса инерции. При этом угловые ускорения рамы уменьшаются обратно пропорционально моменту инерции агрегата относительно оси, перпендикулярной линии тяги трактора.

Расчет параметров силовых нагрузок на рабочие органы и рамы определяется по удельному сопротивлению почвы и внешним силам, действующим на агрегат.