

Шляпников М. Г., аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А. И Лещанкина

Купряшкин В. Ф., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А. И Лещанкина.

Наумкин Н. И., д. п. н., к.т.н., профессор, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин

Гусев А. Ю., аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А. И Лещанкина

Уланов А. С., к.т.н., преподаватель кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А. И Лещанкина

*Четверов Н. А., магистрант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А. И Лещанкина
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва»*

ВЛИЯНИЕ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА МАХОВИКА АККУМУЛЯТОРА КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МАЛОГАБАРИТНОЙ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ФРЕЗЫ

Аннотация: Из анализа работы ротационных почвообрабатывающих машин различной ширины захвата следует, что малогабаритные машины наиболее склонны к нестабильности протекания процесса обработки почвы. Предлагаемая конструкция почвообрабатывающей фрезы с маховичным аккумулятором энергии позволяет улучшить курсовую устойчивость фрезы и качество обработки почвы.

Ключевые слова: Почвообрабатывающая фреза, маховик аккумулятора кинетической энергии, устойчивость фрезы, обработка почвы.

Annotation: From the analysis of the operation of rotary tillage machines of different working widths, it follows that small-sized machines are most prone to instability of the soil treatment process. The proposed design of a tillage cutter with a flywheel energy accumulator allows you to improve the course stability of the cutter and the quality of soil treatment.

Keywords: Tillage cutter, kinetic energy accumulator flywheel, cutter stability, tillage.

Работа почвообрабатывающих фрез связана с непрерывно изменяющимися условиями работы, характеризующиеся плотностью, твердостью и влажностью почвы, наличием растительных остатков и т.д.

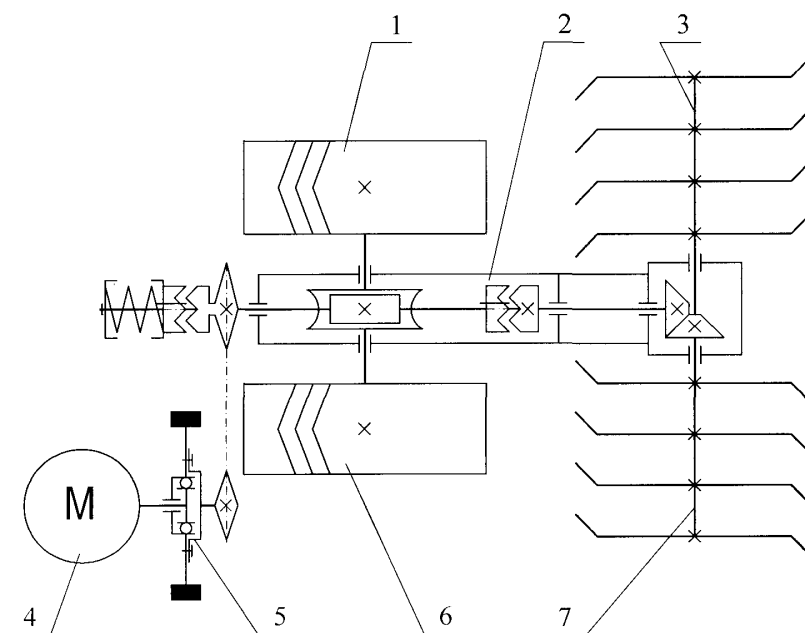
Указанные факторы отрицательно сказываются на основных параметрах работы почвообрабатывающей машины, а именно они приводят к нарушению агротехнических требований к обработке почвы, перегрузке привода, неравномерной загрузке двигателя, снижению производительности, повышению расхода топлива и утомляемости оператора.

Для решения данных проблем предлагается в конструкции самоходных почвообрабатывающих фрез использовать маховичный аккумулятор энергии [1]. Маховичный аккумулятор кинетической энергии с обгонной муфтой для простоты конструкции и минимальных размеров маховика размещен на валу двигателя (рисунок 1) [2].

Однако в данном случае из-за того, что самоходные почвообрабатывающие фрезы имеют мобильный характер, определяемый подвижностью машины в пространстве, то работа маховика аккумулятора кинетической энергии будет сопровождаться гироскопическим эффектом, заключающимся в возникновении дополнительного момента пары сил, обусловленный реакцией оси тела на отклонение ее от начальной оси вращения [3].

Иначе говоря, ось маховичного аккумулятора энергии при перемещении вместе с машиной стремится сохранить свое первоначальное положение

благодаря наличию поворотного момента. Чтобы изменить положение оси, нужно к ней приложить момент, равный по величине поворотному, по обратно направленный.



1, 6 – опорное (приводное) колесо; 2 – рама машины (редуктор); 3, 7 – фрезбаран;
4 – электродвигатель; 5 – маховичный аккумулятор кинетической энергии

Рисунок 1 – Схема самоходной почвообрабатывающей фрезы с маховичным аккумулятором кинетической энергии (на примере тепличной фрезы ФС-0,85)

Гироскопический эффект вращающихся частей движущихся машин влияет на устойчивость движения и управляемость машинного агрегата. Это объясняется тем, что быстро вращающийся ротор стремится сохранить направление своей оси при воздействии внешних сил, принуждающих ее отклоняться от своего направления.

Ниже предлагается анализ влияния гироскопического эффекта на работу маховичного аккумулятора энергии при повороте оси маховика в горизонтальной плоскости.

Как известно, уравнения динамики свободно движущегося цилиндрического ротора можно записать в виде [3] (рисунок 2):

$$\left. \begin{aligned}
 M_{x_3} &= J_z (\alpha_1'' + \varphi_1'' \sin \beta_1 + \varphi_1' \beta_1' \cos \beta_1), \\
 M_{y_3} &= J_x (\varphi_1'' \cos \beta_1 \sin \alpha_1 - 2\beta_1' \varphi_1' \sin \beta_1 \sin \alpha_1 - \beta_1'' \cos \alpha_1 - \\
 &\quad - \varphi_1''^2 \cos \beta_1 \sin \beta_1 \cos \alpha_1) + J_z (\alpha_1' \varphi_1' \cos \beta_1 \cos \alpha_1 + \\
 &\quad + \varphi_1'^2 \cos \beta_1 \sin \beta_1 \cos \alpha_1 + \alpha_1' \beta_1' \sin \alpha_1 + \beta_1' \varphi_1' \sin \alpha_1 \sin \beta_1), \\
 M_{z_3} &= J_x (\varphi_1'' \cos \beta_1 \cos \alpha_1 - 2\beta_1' \varphi_1' \sin \beta_1 \cos \alpha_1 + \beta_1'' \sin \alpha_1 - \\
 &\quad - \varphi_1'^2 \cos \beta_1 \sin \beta_1 \sin \alpha_1) - J_z (\alpha_1' \varphi_1' \cos \beta_1 \sin \alpha_1 + \\
 &\quad + \varphi_1'^2 \cos \beta_1 \sin \beta_1 \sin \alpha_1 - \alpha_1' \beta_1' \cos \alpha_1 + \beta_1' \varphi_1' \cos \alpha_1 \sin \beta_1),
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где M_{x_3} , M_{y_3} и M_{z_3} – проекции главного момента внешних сил на подвижные оси x_3 , y_3 , и z_3 , связанные с ротором и являющиеся главными осями инерции маховика; J_x и J_z – главные моменты инерции маховика относительно осей x и z ; α_1 , β_1 и φ_1 – углы Резаля.

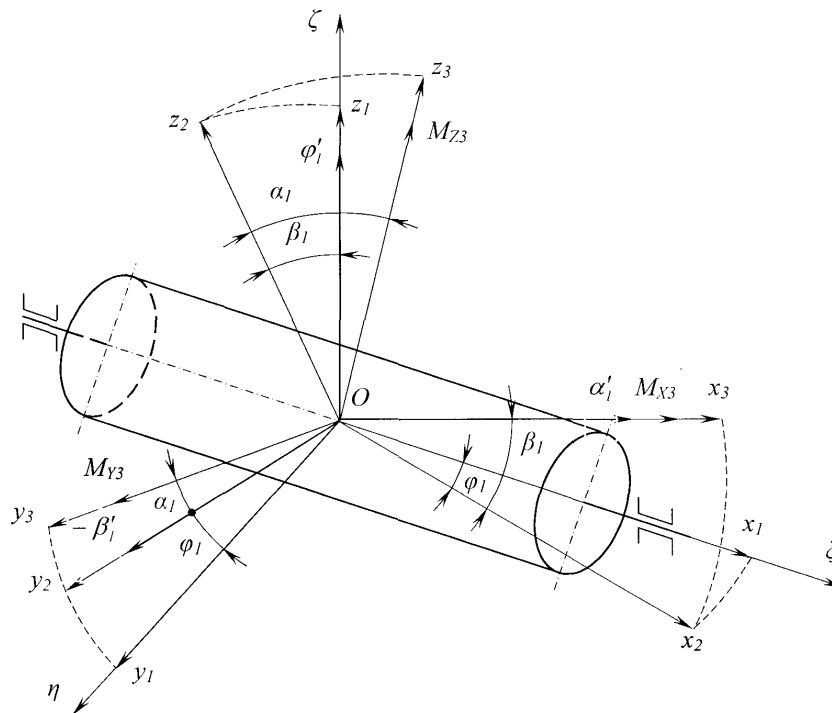


Рисунок 2 – Схема расположения маховика аккумулятора кинетической энергии относительно декартовых координат и углов Резаля

Но, как известно, эти уравнения не имеют общего решения.

Рассмотрим эти уравнения для частного случая, имеющего место при работе почвообрабатывающей фрезы, а именно ее поворот в горизонтальной

плоскости.

Пусть фреза движется в горизонтальной плоскости с постоянной поступательной скоростью $v_n = const$. Допустим при этом, что машина совершает поворот с постоянной угловой скоростью $\phi'_1 = \omega_1 = const$, а маховик вращается с постоянной угловой скоростью $\alpha_1 = \omega_1 = const$.

Найдем значения проекций величин главных моментов внешних сил на оси x_2 , y_2 , и z_1 при этих условиях.

Согласно рисунку 3, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_2} &= M_{x_3} \cos \beta_1 - M_{z_3} \cos \alpha_1 \sin \beta_1 - M_{y_3} \sin \alpha_1 \sin \beta_1, \\ M_{y_2} &= M_{y_3} \cos \alpha_1 - M_{z_3} \sin \alpha_1, \\ M_{z_1} &= M_{z_3} \cos \alpha_1 \cos \beta_1 + M_{y_3} \sin \alpha_1 \cos \beta_1 + M_{x_3} \sin \beta_1. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Но так как в нашем случае $\beta_1 = \beta' = \beta'' = 0$, то получим:

$$\left. \begin{aligned} M_{x_3} &= 0, \\ M_{y_2} &= J_z \alpha'_1 \phi'_1 = J_z \omega \omega_1, \\ M_{z_1} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Отсюда видно, что со стороны вала маховика возникает момент пары сил, действующий в плоскости, перпендикулярной к направлению движения (рисунок 3). Этот момент и называется моментом гироскопических сил.

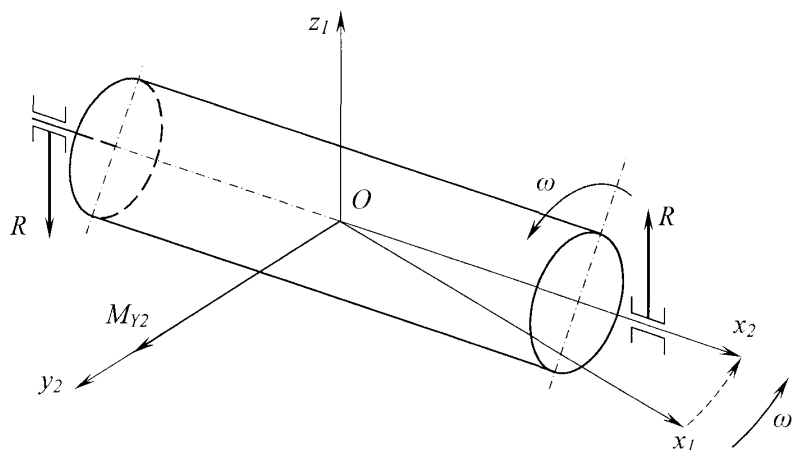


Рисунок 3 – Схема действия гироскопического момента и сил при повороте оси маховика в горизонтальной плоскости

Со стороны опор (подшипников) вала маховичного аккумулятора энергии

возникает реактивный момент, равный по величине и противоположно направленный:

$$\check{E}_{y2} = -RL = J_z \omega \omega_1, \quad (4)$$

где R – реакция опор; L – расстояние между центрами опор (подшипников).

Так как:

$$J_z = \frac{1}{2} m_d r_n^2, \quad (5)$$

где m_d – масса маховика; r_n – радиус приведенной массы маховика.

То можем написать:

$$M_{y2} = \frac{1}{2} m_d r_n^2 \omega \omega_1, \quad (6)$$

Из выражения (6) с учетом (4) выразим величину опрокидывающего усилия:

$$R = -\frac{1}{2L} m_d r_n^2 \omega \omega_1. \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что чем меньшими будут величины m_d , r_n , ω и ω_1 и большей величина L , тем меньшим будет опрокидывающее усилие R .

Наличие гироскопического эффекта будет отрицательно сказываться на устойчивости хода фрезы, так как при повороте агрегата в горизонтальной плоскости маховик будет стремиться к опрокидыванию в вертикальной плоскости, и наоборот, а при повороте агрегата в вертикальной плоскости маховик будет стремиться к опрокидыванию в горизонтальной плоскости. Поэтому при проектировании самоходных почвообрабатывающих фрез с маховичными аккумуляторами кинетической энергии необходимо учитывать гироскопический эффект быстровращающихся деталей и стремиться к уменьшению его воздействия на устойчивость машины.

Работа выполнена при поддержке проекта № 18-013-00342 Российского фонда фундаментальных исследований.

Библиографический список:

1. Чаткин М.Н., Купряшкин В.Ф., Панфилов Н.П., Наумкин Н.И., Голованов В.В. Почвообрабатывающая фреза. Патент Российской Федерации №2193298, Заяв. №2000103883 от 16.02.2000.

2. Купряшкин В.Ф., Чаткин М.Н., Наумкин Н.И. К вопросу стабилизации работы машин с активным резанием фрезы / Всероссийская научно-практическая конференция «Организационные, философские и технические проблемы современных машиностроительных производств»: Тезисы докладов. Ч.1. – Рузаевка: Рузаевский печатник, 2000, с. 64 – 66.

3. Василенко П.М. Влияние гироскопического эффекта на устойчивость движения и управляемость машин при повышении скоростей. Вестник сельскохозяйственной науки. Вып. № 3, стр. 75-82, 1961.