

УДК 631.31:624.131

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА БЛОЧНО – МОДУЛЬНОГО АДАПТЕРА

В.Ю. Молофеев, В.В. Голубев, Д.М. Рула
ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии

Виконані теоретичні дослідження математичної моделі комбінованого сошника. Визначені основні складові рівняння руху сошника, які дають можливість підготувати насінневе ложе ґрунтового горизонту, у відповідності до установлених вимог.

Ключові слова: математична модель, комбінований сошник, насінневе ложе, ґрунтовий горизонт.

Проблема. При возделывании льна – долгунца особое место в технологическом процессе занимает посев семян. В настоящее время всё большее значение уделяют совмещению посева с внесением минеральных удобрений [1]. Для разработки комбинированного сошника, позволяющего выполнять с учётом агротребований, технологический процесс посева с внесением минеральных удобрений, в ГНУ ВНИИМЛ проведены теоретические исследования. Разрабатываемый комбинированный сошник будет работать на блочно – модульном комбинированном адаптере для предпосевной обработки почвы.

Результаты исследований. Посевной агрегат представляет собой сложную динамическую систему, которая в расчётной модели должна рассматриваться как многомассивная система [2, 3, 4]. К основной части сеялки, связанной с энергетическим средством, можно отнести раму с семенным и туковым ящиком, движителями, подвеской и другими механизмами, а к дополнительной – сошниковую группу. Поэтому в общем случае обобщённых координат, рассмотрение посевного агрегата будет весьма значительным. При теоретическом анализе линейных моделей сельскохозяйственных агрегатов в работах [2, 3] показано, что при некоторых допущениях, движение сельскохозяйственного блочно – модульного адаптера можно представить состоя-

© В.Ю. Молофеев, В.В. Голубев, Д.М. Рула.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 96. 2012.

щих из двух несвязных движений – продольного и бокового, причём продольное движение определяется поведением агрегата в продольно – вертикальной плоскости, а боковое – в горизонтальной проекции. Таким образом, сложное движение адаптера может быть заменено двумя плоскими движениями с соответствующими обобщёнными координатами.

В ряде случаев, при рассмотрении продольного движения посевного агрегата, для упрощения задачи ограничиваются учётом лишь четырёх обобщённых координат, определяющих следующие виды движения: линейные вертикальные колебания « $Z_m(t)$ » и продольно – угловые колебания « $\phi(t)$ » энергетического средства, продольно – угловые колебания « $\phi_n(t)$ » основной части сеялки относительно энергетического средства и продольно – угловые колебания « $\phi_c(t)$ » сошниковой группы относительно рамы сеялки.

В связи с тем, что в работе рассматривается исследование и анализ работы ротационного сошника, для упрощения задачи ограничиваемся учётом лишь двух обобщённых координат, определяющих следующие виды движения: продольно – угловые колебания « $\phi_1(t)$ » поводка с катком относительно рамы сеялки и продольно – угловые колебания « $\phi_2(t)$ » собственно сошника относительно поводка, полагая, что энергетическое средство с рамой адаптера является абсолютно жёстким телом.

Такое ограничение может быть оправдано тем, что для установившегося движения агрегата существенными воздействиями являются изменения профиля поля и сопротивление почвы, определяющие вынужденные колебания энергетического средства. Собственные же колебания энергетического средства, обусловленные жёсткостью пневматики с течением времени затухают. При составлении расчётной схемы приняты следующие допущения:

1. Отклонение поводка ротационного сошника от установившегося положения остаётся достаточно малым, поэтому можно считать

$$\varphi_1 = \varphi_{01} + \Delta\varphi_1, \quad (1)$$

где φ_{01} – угол наклона сошника в установившемся режиме; $\Delta\varphi_1$ – малое приращение переменной φ_1 , причём $\sin\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_1$, а $\cos\Delta\varphi_1 = 1$.

2. При нарушении установившегося режима на заданной глубине сошник и каток после переходного процесса занимают установившееся положение, то есть новое установившееся положение существует.

3. Адаптер перемещается равномерно, т.е. $V = const$.

4. Принимается, что система голономная, т.е. все связи зависят от времени и среди них нет неинтегрируемых дифференциальных связей.

5. Сошник представляет собой ротационный диск, центр масс которого совпадает с центром оси вращения.

6. Предполагаем, что ротационный сошник вращается без люфта относительно оси OZ , проходящей через центр крепления его к общему брусу рамы адаптера. Тогда можно считать, что оси OZ и $O'Z'$ взаимно параллельны.

С учётом вышепринятых допущений и обозначений, расчётную схему ротационного сошника для посева льна – долгунца примем в виде, представленным на рисунке.

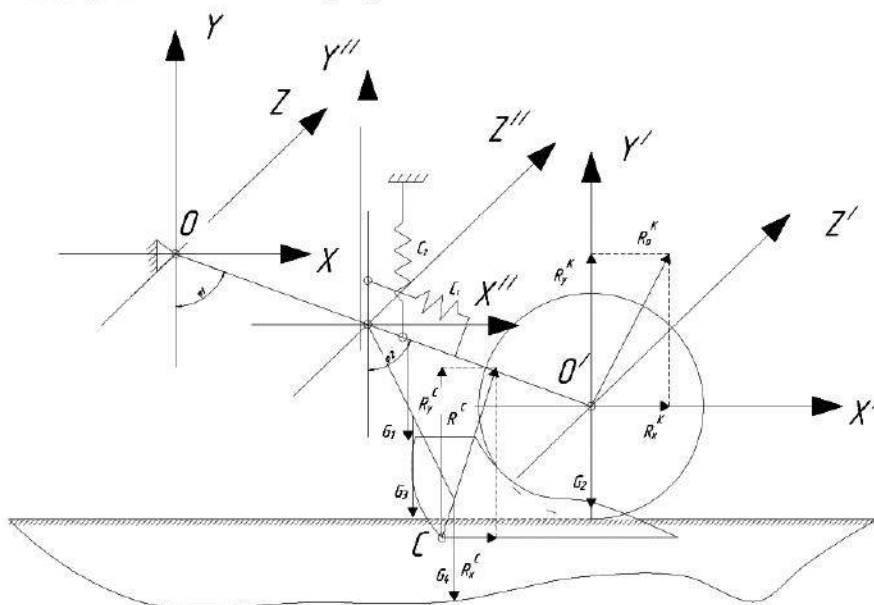


Рис. 1. Расчётная схема комбинированного ротационного сошника

Для нахождения уравнения движения данной системы воспользуемся уравнениями Лагранжа второго рода [5].

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1} - \frac{\partial T}{\partial \phi_1} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \phi_1} + Q_{\phi_1}, \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} - \frac{\partial T}{\partial \phi_2} = -\frac{\partial \Pi}{\partial \phi_2} + Q_{\phi_2}, \quad (3)$$

где T – кинетическая энергия; Π – потенциальная энергия; Q_{ϕ_1} , Q_{ϕ_2} – обобщённые силы, соответствующие неконсервативным силам; ϕ_2 – угол наклона поводка сошника к поводку катка в установившемся режиме – характеризует положение поводка сошника относительно поводка катка.

Для получения дифференциальных уравнений движения ротационного сошника необходимо вычислить функции «Т», «П», «Q» относительно обобщённых координат « ϕ_1 » и « ϕ_2 ». Ротационный сошник блочно – модульного адаптера можно представить в виде механической системы, состоящей из нескольких твёрдых тел. В этом случае кинетическая энергия сошника определяется как сумма кинетических энергий отдельных тел – 1, 2, 3, 4

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (4)$$

где T_1 , T_2 , T_3 , T_4 – кинетические энергии соответственно: поводка катка, собственно катка, поводка сошника и частей сошника, разбитого на тела простой формы.

Кинетическая энергия поводка катка (тонкий однородный стержень), совершающего поступательное движение со скоростью « V » и вращающегося вокруг оси « OZ » (рисунок 2) определяется из выражения

$$T_1 = m_1 \frac{V_1^2}{2} + J_1 \frac{\phi_1^2}{2}, \quad (5)$$

где $m_1 = \frac{G_1}{g}$ – масса поводка катка; G_1 – сила тяжести поводка катка; g –

ускорение свободного падения; V_1 – линейная скорость центра тяжести поводка, равная скорости движения « V » сеялки;

J – момент инерции поводка катка, совершающего вращательное движение относительно оси « OZ »; ϕ_1 – угловая скорость поводка катка.

Предполагаем, что поводок катка представляет собой стержень длиной « l_{II} » и массой « m_{II} », тогда согласно определению момента инерции сплошного тела относительно оси « OZ » запишем

$$J_1 = \frac{m_1}{l_1} \int_0^{l_1} x^2 dx = m_1 \frac{l_1^2}{3} = \frac{G_1 \cdot l_1^2}{3g}, \quad (6)$$

где l_1 – длина поводка.

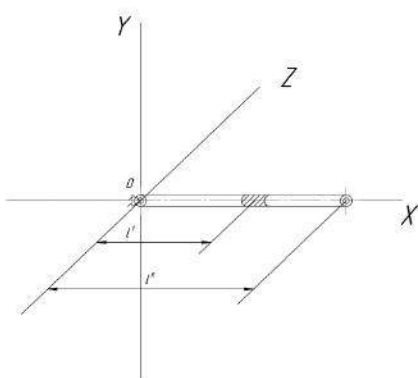


Рис. 2. Динамика поводка сошника

Подставляя выражение (6) в выражение (5), получим выражение для кинетической энергии « T_1 » поводка катка

$$T_1 = \frac{G_1 \cdot V^2}{2g} + \frac{G_1 \cdot l_1^2 \cdot \phi_1^2}{g \cdot 3 \cdot r_k}. \quad (7)$$

Кинетическая энергия катка, совершающего поступательное движение со скоростью « $V_2 = V$ » в направлении движения сеялки и вращающегося вокруг оси « OZ » и « $O'Z'$ » определяются как

$$T_2 = m_2 \frac{V^2}{2} + J_{2O'Z'} \cdot \frac{\omega_k^2}{2} + J_{2OZ} \cdot \frac{\phi_2^2}{2}, \quad (8)$$

где m_2 – масса катка, рассматриваемого как сплошной однородный диск, определяемая по выражению $m_2 = \frac{G_2}{g}$; G_2 – сила тяжести катка;

$J_{2O'Z'}$ – момент инерции катка относительно оси « $O'Z'$ », проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости катка; r_k – радиус катка, ω_k – угловая скорость катка, полагая, что каток катится без скольжения, можем записать $\omega_k = \frac{V}{r_k}$.

Момент инерции катка относительно оси « $O'Z'$ », проходящей перпендикулярно плоскости катка через центр вращения, равен

$$J_{2O'Z'} = m_2 \frac{r_k^2}{2} = \frac{G_2 r_k^2}{2g}. \quad (9)$$

Момент инерции катка относительно оси «OZ» крепления комбинированного сошника к брусу адаптера можно определить, воспользовавшись теоремой Гюйгенса – Штейнера

$$J_{2oz} = J_{2o'z'} + m_2 \cdot l_2^2 = \frac{G_2}{g} \left[\frac{r_k^2}{2} + l_2^2 \right], \quad (10)$$

где l_2 – расстояние между осями «OZ» и «O'Z'».

Подставляя выражение (9) и (10) в уравнение (8), получим выражение для кинетической энергии катка

$$T_2 = \frac{G_2 \cdot V_2}{2g} + \frac{G_2 \cdot r_k^2}{2g} \cdot \frac{V^2}{r_k^2} + \frac{G_2}{g} \left[\frac{r_k^2}{2} + l_2^2 \right] \cdot \frac{\phi_1^2}{2} = \frac{G_2 \cdot V}{g} + \frac{G_2}{g} \left[\frac{r_k^2}{2} + l_2^2 \right] \cdot \frac{\phi_1^2}{2}. \quad (11)$$

Кинетическая энергия «T₃» поводка сошника определяется аналогично кинетической энергии «T₁» поводка катка и равна

$$T_3 = \frac{G_3 \cdot V^2}{2g} + \frac{G_3 \cdot l_3^2 \cdot \phi_2^2}{6g}, \quad (12)$$

где G_3 – сила тяжести поводка сошника; l_3 – длина поводка сошника; ϕ_2 – угловая скорость поводка сошника.

Сошник, представляющий сложное тело, подразумевает вычисление момента инерции относительно оси «O'Z'» крепления его к поводку катка. Однако его определение весьма сложно, в связи с чем, суммарная кинетическая энергия может быть определена как сумма энергий простых тел, на которые разбит сошник.

После деления условных элементов сошника на определённое количество участков (простых тел), запишем полученное уравнение

$$T_4 = \sum_1^6 T_4^i. \quad (13)$$

Кинетическая энергия треугольных простых тел в общем виде определится выражением

$$T_4 = \frac{G_4^i \cdot V^2}{2g} + J_{4oz}^i \cdot \frac{\phi_2^2}{2} = \frac{G_4^i \cdot V^2}{2g} + \left[J_{4o'z'}^i + \frac{G_4^i}{g} (l_4^i)^2 \right] \cdot \frac{\phi_2^2}{2}, \quad (14)$$

где $i = 1, 2, 3$ – порядковые номера простых элементов.

Кинетическая энергия элементов сошника 4, 5, 6 определится из уравнения

$$T_4 = \frac{G_4 \cdot V^2}{2g} + \left[\frac{G_4}{g} \cdot \frac{(a_i^2 + b_i^2)}{3} + \frac{G_4}{g} (l_4^i)^2 \right] \cdot \frac{\phi_2^2}{2}, \quad (15)$$

где $i = 4, 5, 6$ – номера элементов; G_4 – силы тяжести соответствующих элементов сошника, на которые он условно разделён; J_{4OZ}^i – момент инерции i – го элемента сошника, относительно оси «OZ» параллельной осям «OⁱZⁱ», проходящим через центр тяжести i – х элементов; $J_{4O'Z'}^i$ – момент инерции i – го элемента сошника, относительно оси «OⁱZⁱ», проходящей через его центр тяжести; l_4^i – расстояние от оси «OZ» до центра тяжести i – го элемента сошника; i – порядковый номер элемента.

Выводы. Подставляя полученные зависимости в уравнение (4), можем записать определение общей кинетической энергии в виде

$$T = V^2 \sum_{i=1}^6 K_i + (H_1 + H_2) \phi_1^2 + (H_3 + \sum_{i=1}^6 H_4^i) \phi_2^2, \quad (16)$$

где K_i – принятые обозначения, определяемые как $K_i = \frac{G_i}{2g}$.

Дальнейшим этапом теоретических исследований является определение динамической модели взаимодействия комбинированного сошника с почвой, минеральными удобрениями и семенами льна – долгунца.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. *Артюшин А.А.* Исходные требования на технологию возделывания льна – долгунца с учётом принципов точного земледелия [Текст] / А.А. Артюшин, М.М. Ковалёв, И.В. Уцаповский – Тверь, ВНИИМЛ, 2011. – 16 с.
2. *Строна И.Г.* Общее семеноведение полевых культур [Текст] / И.Г. Строна – М.: Колос, 1966. – 463 с.
3. *Гриценко В.В.* Семеноведение полевых культур [Текст] / В.В. Гриценко, З.М. Калошина – М.: Колос, 1984. – 272 с.
4. *Бузенков Г.М.* Машины для посева сельскохозяйственных культур [Текст] / Г.М. Бузенков, С.А. Ма. М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
5. *Любушко Н.И.* Направление усовершенствования параметров двухдисковых сошников зерновых сеялок [Текст] // Тракторы и сельхозмашины, 1981, – № 12. – С. 10 – 12.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА БЛОЧНО – МОДУЛЬНОГО АДАПТЕРА

Выполнены теоретические исследования математической модели комбинированного сошника. Определены основные составляющие уравнения движения сошника, позволяющего подготовить семенное ложе почвенного горизонта, в соответствии с установленными требованиями.

Ключевые слова: математическая модель, комбинированный сошник, семенное ложе, почвенный горизонт.

A MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF THE COMBINED SHOE BLOCK - THE MODULAR ADAPTER

Theoretical study of the mathematical model of combined machines. The main components of the equations of motion of the chisel, to prepare the seed bed of soil horizon, as required.

Key words: the mathematical model, combined machines, the seed bed, soil horizon.

УДК 631.314.322.1

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РОТАЦИОННОЙ БОРОНЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЬНА - ДОЛГУНЦА

В.Ю. Молофеев, В.В. Голубев, Д.М. Рула, В.С. Коробкин
ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии

Приведені теоретичні дослідження стійкості ротаційної борони. Обґрунтовані основні режими її роботи методом теорії стійкості.

Ключові слова: ротаційна борона, обробіток ґрунту, теорія стійкості.

Проблема предпосевной обработки почвы под лён – долгунец в настоящее время является весьма актуальной, что связано с особенностью создания оптимального строения поверхностного почвенного горизонта.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из направлений решения задачи по созданию требуемого строения поверхностного слоя почвы является теоретическое обоснование режимов