УДК 631.331.8
EDN MTRGVE

Гайдидей С. В.[1], Дёмшин С. Л.[2], Исупов А. Ю.[2]

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОШНИКОВОЙ ГРУППЫ СЕЯЛКИ ПОЛОСНОГО ПОСЕВА

[1]ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина»;
[2]ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. *Наиболее эффективным, ресурсосберегающим и безопасным с экологической точки зрения приемом восстановления продуктивности кормовых угодий является полосной посев семян трав в дернину. Существующая конструкция сеялки для полосного посева трав имеет ряд недостатков: забивание подкожухового пространства фрезерного бороздовскрывателя растительными остатками и измельченной почвой, снижение качества посева вследствие неравномерного выглубления носка сошника относительно его задней части. Целью исследований является определение основных конструктивно-технологических параметров сошниковой группы с поводками в виде пружин кручения, позволяющей обеспечить повышение качества посева семян трав с одновременным внесением минеральных удобрений. Предложенная схема сошниковой группы дернинной сеялки предполагает вынос туконаправителя из подкожухового пространства фрезерного бороздовскрывателя и установку сдвоенного сошника для высева минеральных удобрений и семян трав на механизме подвеса параллелограммного типа. В ходе теоретических исследований получена математическая модель, описывающая движение сошниковой группы сеялки. Рассмотрены условия, при которых возможны динамическое равновесие механической системы. Исследована зависимость угла отклонения поводков при динамическом равновесии сошниковой группы от начального угла установки поводков, жесткости пружин кручения и скорости сеялки. При жесткости пружины 150 Н/рад изменение первоначального угла установки поводков с 50° до 75° приведет к увеличению угла φ_0 с 5° до 9,2°. При 250 Н/рад такое же изменение угла α0 приводит к увеличению угла φ_0 с 3,2° до 5,8°. При скорости сеялки 1 м/с увеличение жесткости пружины со 150 до 250 Н/рад вызовет уменьшение угла φ_0 с 1,6° до 1°, при скорости 3 м/с угол φ_0 уменьшится с 7,9° до 5,1°. Полученные зависимости показывают, что на величину угла φ_0 существенное влияние оказывает изменение первоначального угла установки поводка и скорость сеялки. На высоких скоростях наиболее значимым фактором для поддержания устойчивого движения сошника на стыке предельно апериодического движения и затухающих колебаний, является жесткость пружины кручения.*

Ключевые слова: *полосной посев семян трав, сеялка полосного посева, сошниковая группа, параллелограммный механизм.*

Для цитирования: *Гайдидей С. В., Дёмшин С. Л., Исупов А. Ю. Исследование динамики сошниковой группы сеялки полосного посева // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4(32). С. 34–46. EDN: MTRGVE.*

For citation: *Gaididei S. V., Demshin S. L., Isupov A. Yu. Analysis of the dynamics of the coulter group of the sod seeder for strip sowing // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 4(32). P. 34–46. EDN: MTRGVE.*

Введение

В настоящее время в мировом сельскохозяйственном производстве все большее место занимает органическое земледелие. Это связано с популяризацией здорового образа жизни и экологически чистых продуктов питания [1–3]. К 2019 г. в органическое земледелие было вовлечено 187 стран мира с общей площадью в 72,3 млн га сельскохозяйственных угодий [4]. По оценке Минсельхоза на данный момент в России имеется более 10 млн га, которые могут быть введены в сельскохозяйственный оборот и большая часть из них пригодна для использования в системе органического земледелия, что свидетельствует о высоком потенциале развития этого сектора сельского хозяйства в нашей стране [5, 6]. Для северных регионов европейской части России перспективным направлением органического сельского хозяйства может стать мясомолочное и молочное животноводство. Потенциальные возможности природных кормовых угодий региона достаточны для полноценного обеспечения кормами, но требуют проведения культуртехнических мероприятий по восстановлению их продуктивности. Наиболее эффективным, ресурсосберегающим и безопасным с экологической точки зрения приемом является полосной посев семян трав в дернину с фрезерованием полосы дернины шириной, необходимой для успешного прорастания семян и развития всходов без химического подавления существующего фитоценоза [7–9].

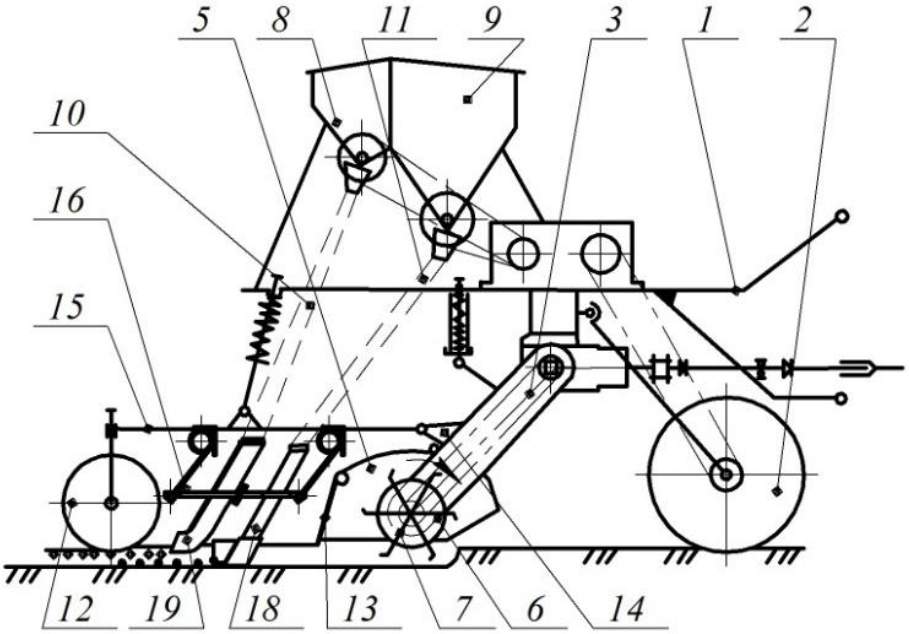
Для полосного посева семян в дернину предлагается модернизированная сеялка [10]. В процессе исследований был выявлен ряд недостатков конструкции сошниковой группы сеялки [11], принимаемой за прототип. Так, размещение туконаправителей под кожухом фрезерного бороздовскрывателя в случае обработки влажной почвы приводит к забиванию подкожухового пространства растительными остатками и измельченной почвой, при этом корпус туконаправителя служит концентратором первоначального обволакивания металлических частей внутренней поверхности кожуха почвенными частицами. Установка сдвоенного сошника для туков и семян на прицепе пружины кручения обуславливает радиальную траекторию его движения при выглублении в случае повышения сопротивления почвы поступательному перемещению сошника, что приводит к снижению качества посева вследствие неравномерного выглубления носка сошника относительно его задней части. Поэтому данный механизм подвеса рекомендуется использовать лишь с одинарными сошниками килевидного типа.

Цель исследований – определение основных конструктивно-технологических параметров сошниковой группы с поводками в виде пружин кручения, позволяющей обеспечить повышение качества посева семян трав с одновременным внесением минеральных удобрений.

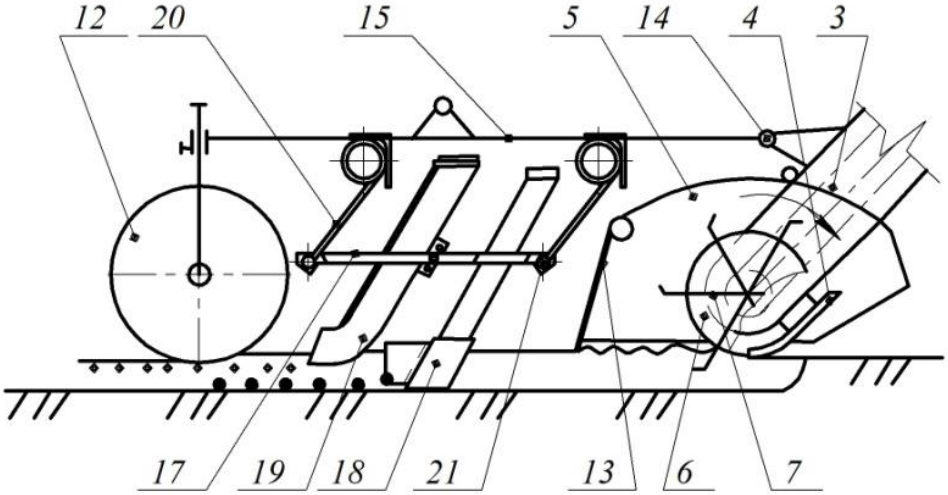
Материалы и методы исследований

Для устранения вышеперечисленных недостатков сошниковой группы предлагается вынести туконаправитель из подкожухового пространства фрезерного бороздовскрывателя и использовать в качестве механизма подвеса сдвоенного тукосеменного сошника параллелограмный механизм. Предлагаемая конструкция сеялки (рисунок 1) состоит из рамы 1, на которой расположены опорно-приводные колеса 2, фрезерная секция 3, закрытая кожухом 5, на выходных валах которой дисковые фрезы 6 с Г-образными ножами 7, бункера для семян 8 и удобрений 9 с высевающими аппаратами, семя- 10 и тукопроводами 11, сошников для туков 18 и семян 19 и катков 12. Параллелограммный механизм подвеса 16 сошниковой группы включает верхнее звено, жёстко связанное с брусом 15 крепления катка, нижнее звено 17 и вертикальные звенья, которые выполнены в виде прицепов пружин кручения 20.

На нижнем звене между кожухом и прикатывающими катками жестко установлены сошники для туков 18 и семян трав 19.



а)



б)

Рисунок 1 – Усовершенствованная технологическая схема сеялки полосного посева (а) и её сошниковая группа (б)

Примечание. *1 – рама; 2 – колеса опорно-приводные; 3 – секция фрезерная; 4 – лыжа; 5 – кожух фрезы; 6 – диски фрезы; 7 – Г-образные ножи; 8, 9 – бункера для семян и для удобрений; 10, 11 – семя- и тукопроводы; 12 – каток; 13 – выравниватель; 14 – кронштейн бруса; 15 – брус крепления; 16 – механизм подвеса; 17 – нижнее звено; 18, 19 – сошники для туков и семян; 20 – пружина кручения; 21 – шарнир.*

Установка сошников на подвесе в виде параллелограммного механизма позволяет точно поддерживать параллельность движения сошников относительно поверхности почвы. При изменении положения сошников по вертикали вследствие варьирования величины сопротивления почвы или при копировании неровностей поверхности поля параллелограммный механизм подвеса сохраняет постоянный угол

вхождения сошников в почву, что позволяет стабильно выдерживать установленные параметры рабочего процесса высева гранул удобрений и семян трав. Таким образом, использование сеялки полосного посева с предложенной сошниковой группой повысит качество посева семян трав в дернину с одновременным внесением стартовой дозы минеральных удобрений при сохранении компактности конструкции сошниковой группы.

Для расчета основных параметров сошниковой группы рассмотрим случай радиального подвеса балки *CD* на поводках *AC* и *BD* пружин кручения, ограничивающих перемещение балки в вертикальной плоскости (рисунок 2). Движение балки с сошниками относительно обрабатываемой поверхности будет являться сложным, где поступательное движение рамы с параллелограммным механизмом – переносное движение, а движение балки с сошниками относительно рамы – относительное движение.

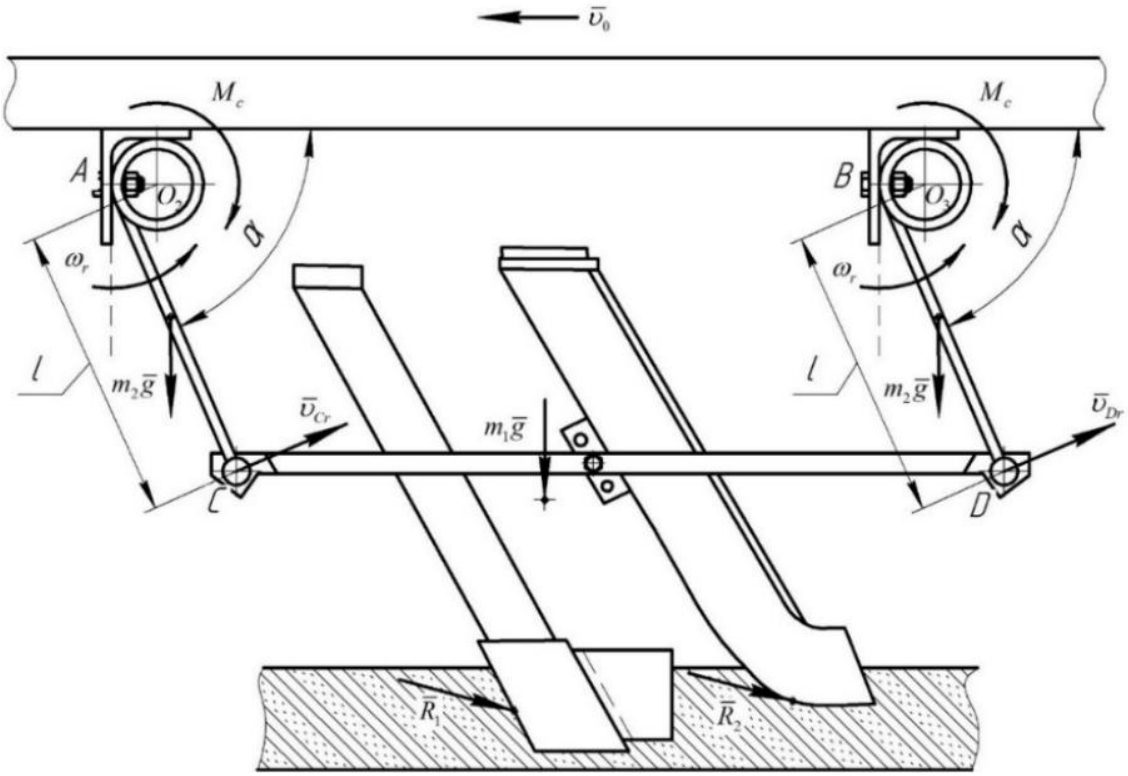


Рисунок 2 – Расчетная схема параллелограммного механизма

При движении системы на неё будут действовать: сила тяжести сошников $m_1\bar{g}$ с кронштейном (далее – просто сошники), силы тяжести поводков $m_2\bar{g}$, моменты сопротивления пружин кручения M_c, силы сопротивления почвы $\bar{R}_1$ и $\bar{R}_2$.

При анализе движения системы сделаем следующие допущения:

1. Поводки *AC* и *BD* имеют одинаковую массу m_2, длину l и параллельны друг другу. Пружины кручения имеют одинаковую жесткость c. Поводки отклоняются в одном направлении на одинаковый угол φ, а кронштейн *CD* параллелограммного механизма всегда параллелен поверхности обрабатываемого участка земли.

2. Угол α наклона поводков к горизонтали определяется по формуле:

$$\alpha = \alpha_0 \pm \varphi\,, \qquad (1)$$

где α_0 – угол наклона поводка в установившемся режиме;

$\varphi = \varphi(t)$ – угол отклонения поводков от положения равновесия.

В дальнейших расчетах будет рассматриваться случай, когда $\alpha = \alpha_0 - \varphi$ (см. рисунок 2).

3. Векторы сил сопротивления $\bar{R}_1$ сошника для туков и $\bar{R}_2$ сошника для семян противоположны абсолютной скорости сошников (см. рисунок 2). Сопротивление движению сошника со стороны почвы постоянно по модулю (R=const).

4. Агрегат движется прямолинейно и равномерно ($\bar{\upsilon}_0 = const$), поэтому движение сошниковой группы можно рассматривать как механическую систему с одной степенью свободы.

Принимая во внимание сделанные допущения и выбрав в качестве обобщенной координаты угол φ, для описания движения сошниковой группы воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода [12]:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \tag{2}$$

где T – кинетическая энергия сошниковой группы;

Q_φ – обобщенная сила.

Кинетическую энергию сошниковой группы найдем как сумму кинетических энергий входящих в эту группу тел:

$$T = T_1 + 2T_2, \tag{3}$$

где T_1 и T_2 – соответственно кинетические энергии сошников и одного поводка.

При вычислении кинетической энергии все кинематические характеристики выражаем через обобщенную координату φ.

Так как точки C и D подвеса движутся с одинаковыми по модулю и направлению скоростями ($\bar{\upsilon}_C = \bar{\upsilon}_D$), то движение сошников является поступательным, а его кинетическая энергия равна:

$$T_1 = \frac{m_1}{2}\upsilon_1^2, \tag{4}$$

где υ_1 – абсолютная скорость центра масс сошников:

$$\upsilon_1^2 = \upsilon_0^2 + \upsilon_{1r}^2 + 2\upsilon_0\upsilon_{1r}\cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right), \tag{5}$$

υ_0 – переносная скорость (скорость сеялки);

$\upsilon_{1r} = \dot{\varphi} l$ – относительная скорость центра масс сошников.

Тогда:

$$\upsilon_1^2 = \upsilon_0^2 + \dot{\varphi}^2 l^2 - 2\upsilon_0\dot{\varphi} l \sin\alpha, \tag{6}$$

$$T_1 = \frac{m_1}{2}\left(\upsilon_0^2 + \dot{\varphi}^2 l^2 - 2\upsilon_0\dot{\varphi} l \sin\alpha\right). \tag{7}$$

Кинетическая энергия поводка при его сложном движении:

$$T_2 = \frac{m_2}{2}\upsilon_0^2 + m_2\bar{\upsilon}_0\bar{\upsilon}_{2r} + \frac{I_2}{2}\dot{\varphi}^2, \tag{8}$$

где $\upsilon_{2r} = \dot{\varphi} l/2$ – относительная скорость центра масс поводка;

$\bar{\upsilon}_0\bar{\upsilon}_{2r}$ – скалярное произведение векторов переносной и относительной скоростей:

$$\bar{\upsilon}_0\bar{\upsilon}_{2r} = \upsilon_0\upsilon_{2r}\cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -\upsilon_0\frac{\dot{\varphi} l}{2}\sin\alpha, \tag{9}$$

$I_2 = m_2 l^2/3$ – момент инерции поводка относительно оси вращения.

Тогда:

$$T_2 = \frac{m_2}{2}\left(\upsilon_0^2 - \upsilon_0\dot{\varphi}l\sin\alpha + \frac{l^2}{3}\dot{\varphi}^2\right). \quad (10)$$

Кинетическая энергия всей системы:

$$T = \left(\frac{m_1}{2} + m_2\right)\upsilon_0^2 + \left(\frac{m_1}{2} + \frac{m_2}{3}\right)\dot{\varphi}^2 l^2 - \left(m_1 + m_2\right)\upsilon_0\dot{\varphi}l\sin\alpha\,. \quad (11)$$

Найдем выражения из левой части уравнения (2), учитывая, что для показанного на рис. 2 положения механизма $\alpha = \alpha_0 - \varphi(t)$:

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = \left(m_1 + m_2\right)\upsilon_0\dot{\varphi}l\cos\alpha\,, \quad (12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = \left(m_1 + \frac{2}{3}m_2\right)\dot{\varphi}l^2 - \left(m_1 + m_2\right)\upsilon_0 l\sin\alpha\,, \quad (13)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}\right) = \left(m_1 + \frac{2}{3}m_2\right)\ddot{\varphi}l^2 + \left(m_1 + m_2\right)\upsilon_0 l\dot{\varphi}\cos\alpha\,, \quad (14)$$

Полная элементарная работа δA_φ всех действующих на систему сил при повороте на угол $\delta\varphi$ будет иметь вид:

$$\delta A_\varphi = 2\delta A_{M_c} + \delta A_{m_1 g} + 2\delta A_{m_2 g} + \delta A_R\,, \quad (15)$$

где δA_{Mc} – элементарная работа момента сопротивления пружины кручения:

$$\delta A_{M_c} = -cl\left(\varphi_0 + \varphi\right)\cdot\delta\varphi\,; \quad (16)$$

φ_0 – угол отклонения поводков при динамическом равновесии механической системы;

$\delta A_{m_1 g}$ – элементарная работа силы тяжести сошников:

$$\delta A_{m_1 g} = -m_1 g\cos\alpha\cdot l\cdot\delta\varphi\,; \quad (17)$$

$\delta A_{m_2 g}$ – элементарная работа силы тяжести поводка:

$$\delta A_{m_2 g} = -m_2 g\cos\alpha\cdot\frac{l}{2}\cdot\delta\varphi\,; \quad (18)$$

δA_R – элементарная работа силы сопротивления почвы:

$$\delta A_R = R\sin\left(\alpha - \gamma\right)\cdot l\cdot\delta\varphi\,, \quad (19)$$

$R = R_1 + R_2$ – суммарная сила сопротивления почвы;

γ – угол между векторами переносной $\overline{\upsilon}_0$ и абсолютной $\overline{\upsilon}$ скорости (см. рисунок 3).

По расчетной схеме (рисунок 3):

$$\sin\left(\alpha - \gamma\right) = \frac{\upsilon_0\sin\alpha - \upsilon_r}{\upsilon} = \frac{\upsilon_0\sin\alpha - \upsilon_r}{\sqrt{\upsilon_0^2 + \upsilon_r^2 - 2\upsilon_0\upsilon_r\sin\alpha}}\,. \quad (20)$$

Учитывая, что $\upsilon_r = \dot{\varphi}l$, получим:

$$\delta A_R = Rl\frac{\upsilon_0\sin\alpha - \dot{\varphi}l}{\sqrt{\upsilon_0^2 + \left(\dot{\varphi}l\right)^2 - 2\upsilon_0\dot{\varphi}l\sin\alpha}}\cdot\delta\varphi\,. \quad (21)$$

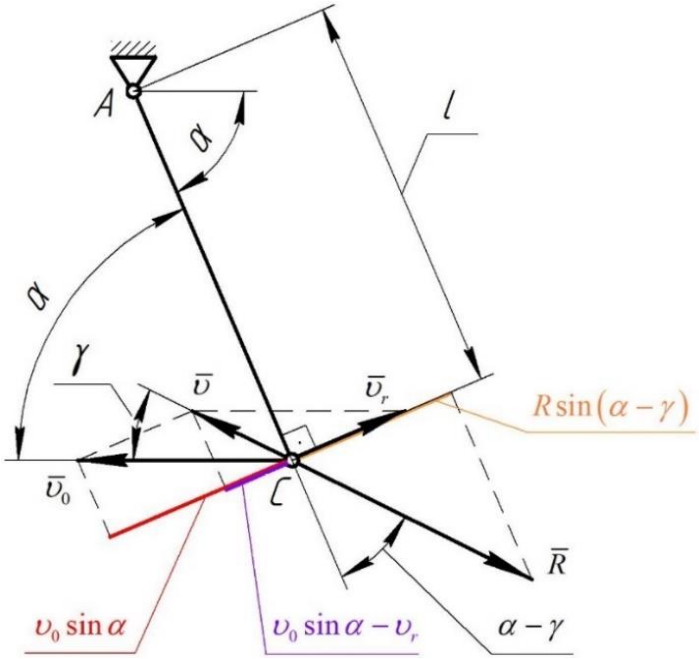


Рисунок 3 – Расчетная схема к определению элементарной работы силы сопротивления почвы

Подставляя выражения (16) – (18) и (21) в уравнение (15), получим полную элементарную работу:

$$\delta A_\varphi = \left[Rl \frac{\upsilon_0 \sin\alpha - \dot{\varphi} l}{\sqrt{\upsilon_0^2 + (\dot{\varphi} l)^2 - 2\upsilon_0 \dot{\varphi} l \sin\alpha}} - 2cl(\varphi_0 + \varphi) - (m_1 + m_2) gl \cos\alpha \right] \delta\varphi, \qquad (22)$$

где выражение в квадратных скобках представляет собой обобщенную силу Q_φ.

Подставляя $\alpha = \alpha_0 - \varphi$, и учитывая, что при малых колебаниях $\sin\varphi \approx \varphi$, $\cos\varphi \approx 1$, получим:

$$Q_\varphi = Rl \frac{\upsilon_0 (\sin\alpha_0 - \varphi\cos\alpha_0) - \dot{\varphi} l}{\sqrt{\upsilon_0^2 + (\dot{\varphi} l)^2 - 2\upsilon_0 \dot{\varphi} l (\sin\alpha_0 - \varphi\cos\alpha_0)}} -$$

$$-2cl(\varphi_0 + \varphi) - (m_1 + m_2) gl (\cos\alpha_0 + \varphi\sin\alpha_0). \qquad (23)$$

При подстановке полученных выражений (12), (14) и (23) в уравнение Лагранжа (2):

$$m_{np} l^2 \ddot{\varphi} = Rl \frac{\upsilon_0 (\sin\alpha_0 - \varphi\cos\alpha_0) - \dot{\varphi} l}{\sqrt{\upsilon_0^2 + (\dot{\varphi} l)^2 - 2\upsilon_0 \dot{\varphi} l (\sin\alpha_0 - \varphi\cos\alpha_0)}} -$$

$$-2cl(\varphi_0 + \varphi) - (m_1 + m_2) gl (\cos\alpha_0 + \varphi\sin\alpha_0), \qquad (24)$$

где $m_{np} = m_1 + \frac{2}{3} m_2$ – приведенная масса системы.

Для определения угла φ_0 отклонения поводков при динамическом равновесии механической системы воспользуемся принципом возможных перемещений. Приравнивая правую часть уравнения (24) к нулю, и полагая, что $\varphi = \varphi_0 = \text{const}$, $\dot{\varphi} = 0$, $\alpha = \alpha_0 - \varphi$, получим:

$$Rl \sin(\alpha_0 - \varphi_0) - 2cl \sin\varphi_0 - (m_1 + m_2) gl \cos(\alpha_0 - \varphi_0) = 0. \qquad (25)$$

Выполнив преобразования, найдем значение угла φ_0:

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{R\sin\alpha_0 - (m_1+m_2)g\cos\alpha_0}{(m_1+m_2)g\sin\alpha_0 + R\cos\alpha_0 + 2c}. \quad (26)$$

С учетом колебаний механической системы около положения динамического равновесия перепишем выражение (24):

$$\ddot{\varphi} = \frac{R}{m_{np}l}\cdot\frac{\upsilon_0(\sin\alpha_1 - \varphi\cos\alpha_1) - \dot{\varphi}l}{\sqrt{\upsilon_0^2 + (\dot{\varphi}l)^2 - 2\upsilon_0\dot{\varphi}l(\sin\alpha_1 - \varphi\cos\alpha_1)}} -$$

$$-\frac{2c}{m_{np}l}\cdot(\varphi_0+\varphi) - \frac{(m_1+m_2)g}{m_{np}l}\cdot(\cos\alpha_1 + \varphi\sin\alpha_1), \quad (27)$$

где $\alpha_1 = \alpha_0 - \varphi_0$ – угол, определяющий положение динамического равновесия.

В силу малости φ и $\dot{\varphi}$ будем полагать, что:

$$\sqrt{\upsilon_0^2 + (\dot{\varphi}l)^2 - 2\upsilon_0\dot{\varphi}l(\sin\alpha_1 - \varphi\cos\alpha_1)} = \upsilon_0. \quad (28)$$

Тогда преобразуем уравнение (27):

$$\ddot{\varphi} + \frac{R}{m_{np}\upsilon_0}\dot{\varphi} + \frac{1}{m_{np}l}\left[R\cos\alpha_1 - 2c - (m_1+m_2)g\sin\alpha_1\right]\varphi =$$

$$= \frac{1}{m_{np}l}\left[R\sin\alpha_1 - 2c\varphi_0 - (m_1+m_2)g\cos\alpha_1\right]. \quad (29)$$

Таким образом, получим неоднородное дифференциальное второго порядка, описывающее движение параллелограммного механизма.

Обозначив

$$2n = \frac{R}{m_{np}\upsilon_0}, \quad (30)$$

$$k^2 = \frac{1}{m_{np}l}\left[R\cos\alpha_1 - 2c - (m_1+m_2)g\sin\alpha_1\right], \quad (31)$$

$$B = \frac{1}{m_{np}l}\left[R\sin\alpha_1 - 2c\varphi_0 - (m_1+m_2)g\cos\alpha_1\right], \quad (32)$$

получаем дифференциальное уравнение:

$$\ddot{\varphi} + 2n\dot{\varphi} + k^2\varphi = B. \quad (33)$$

Решение уравнения (33) слагается из двух частей:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (34)$$

где φ_1 – общее решение однородного уравнения;

φ_2 – частное решение неоднородного уравнения.

В случае возникновения затухающих колебаний (когда $n < k$) общее решение имеет вид [12]:

$$\varphi_1 = e^{-nt}\left(C_1\cos k^*t + C_2\sin k^*t\right), \quad (35)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования;

$k^* = \sqrt{k^2 - n^2}$ – коэффициент затухания колебаний.

Частное решение подбираем по правой части уравнения (33):

$$\varphi_2 = B/k^2. \quad (36)$$

Подставим в уравнение (34) выражения (35) и (36):

$$\varphi = e^{-nt}\left(C_1 \cos k^* t + C_2 \sin k^* t\right) + \frac{B}{k^2}, \qquad (37)$$

и продифференцируем его:

$$\dot{\varphi} = e^{-nt} k^* \left(C_2 \cos k^* t - C_1 \sin k^* t\right) - n e^{-nt}\left(C_1 \cos k^* t - C_2 \sin k^* t\right). \qquad (38)$$

Подставив в уравнения (37) и (38) начальные условия $t = 0$, $\varphi(0) = \varphi_н$ и $\dot{\varphi}(0) = 0$, найдем постоянные интегрирования:

$$C_1 = \varphi_н - \frac{B}{k^2},\ C_2 = \frac{n}{k^*}\left(\varphi_н - \frac{B}{k^2}\right), \qquad (39)$$

где $\varphi_н = \dfrac{h}{l\cos(\alpha - \varphi_0)}$ – угол отклонения поводков параллелограммного механизма при нахождении сошников на поверхности обрабатываемой почвы;

h – глубина обработки (сева) сошниками.

Тогда уравнение движения сошниковой группы при условии возникновения затухающих колебаний ($n < k$) будет иметь вид:

$$\varphi = e^{-nt}\left(\varphi_н - \frac{B}{k^2}\right)\left(\cos k^* t + \frac{n}{k^*}\sin k^* t\right) + \frac{B}{k^2}. \qquad (40)$$

Результаты и их обсуждение

На рисунке 4 представлены значения угла φ_0 отклонения поводка от первоначального угла установки при достижении сошниковой группы динамического равновесия в зависимости от жесткости пружины кручения c (от 150 до 250 Н/рад) и первоначального угла установки α_0 (от 75° до 50°). При вычислениях использовали данные: масса сошников m_1 = 2,5 кг, масса одного поводка m_2 = 0,35 кг, длина поводка l = 0,25 м, сопротивление почвы R = 65 Н.

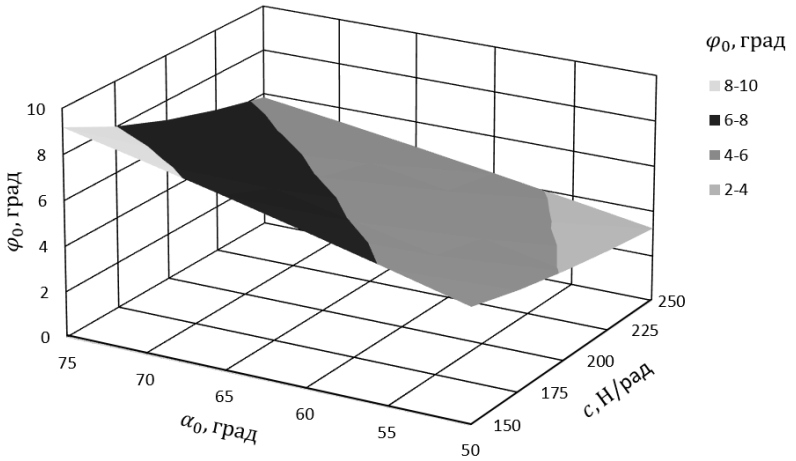


Рисунок 4 – Значения угла φ_0 при условии возникновения затухающих колебаний ($n < k$) в зависимости от угла α_0 и жесткости пружины c при m_1 = 2,5 кг

Существенное влияние на угол динамического равновесия оказывает первоначальный угол установки поводков. При жесткости пружины 150 Н/рад изменение первоначального угла с 50º до 75º приведет к увеличению угла φ_0 с 5º до 9,2°. При 250 Н/рад такое же изменение угла α_0 приводит к увеличению угла φ_0 с 3,2° до 5,8°.

На рисунке 5 представлен график зависимости угла φ_0 от скорости сеялки и жесткости c пружины. Сопротивление почвы определено на основе экспериментальных данных [13], коэффициенты регрессии соответствуют глубине хода килевидного сошника h = 40 мм в почве, подготовленной к посеву, по формуле:

$$R = 0{,}15\upsilon_0^2 + 4{,}3\upsilon_0 + 16{,}3, \quad (41)$$

где υ_0 – скорость сеялки, км/ч.

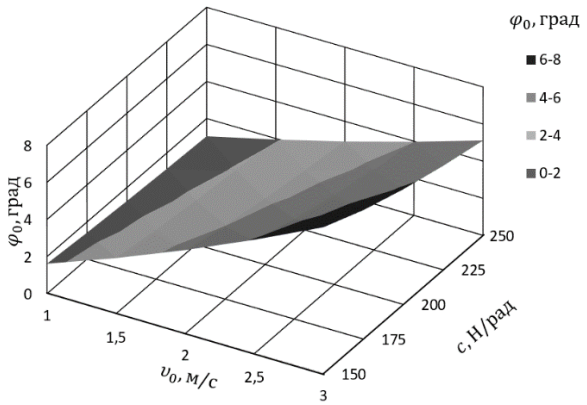


Рисунок 5 – Значения угла φ_0 при условии возникновения затухающих колебаний ($n < k$) в зависимости от скорости сеялки υ_0 и жесткости пружины c при α_0 = 60°

С увеличением скорости сеялки жесткость пружины оказывает более существенное влияние на угол φ_0. При меньших скоростях изменение жесткости пружины вызывает незначительное изменение угла динамического равновесия. Так, при скорости сеялки 1 м/с увеличение жесткости пружины со 150 до 250 Н/рад вызовет уменьшение угла φ_0 с 1,6° до 1°. При возрастании скорости изменения более значительные: при скорости 3 м/с угол φ_0 уменьшится с 7,9° до 5,1°.

Необходимо отметить, что полученное выше уравнение (40) справедливо в случае, когда $n < k$, т.е. происходит затухающее колебательное движение сошника. В случаях, когда $n = k$ или $n > k$ колебаний не возникнет, и движение сошниковой группы будет представлять собой апериодическое движение.

Выводы

При выборе параметров сошниковой группы необходимо принимать во внимание то, в каком интервале скоростей агрегата осуществляет технологический процесс, а также поле допуска агротехнических требований на изменение глубины высева семян. Полученные зависимости показывают, что на величину угла φ_0 существенное влияние оказывает изменение первоначального угла установки поводка и скорость сошниковой группы. На высоких скоростях наиболее значимым фактором, для поддержания устойчивого движения сошника на стыке предельно апериодического движения и затухающих колебаний является жесткость пружины кручения. При этом увеличение жесткости пружины кручения приводит к снижению угла φ_0.

Литература

1. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева // Аграрная наука Северо-Востока. 2020. № 21. С. 321–331. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331.

2. Kirchmann H., Bergstrom L. Organic crop production – ambitions and limitations. Dordrecht: Springer, 2008. 244 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-9316-6.

3. Рубанов И. Н., Фомин А. А. Органическое сельское хозяйство: распространение и перспективы развития в Российской Федерации // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 6. С. 50–55. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-16095.

4. Ван Мансвельт Я. Д., Темирбекова С. К. Органическое сельское хозяйство: принципы, опыт и перспективы // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3. С. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.

5. Серегина Т. А., Жильников А. А., Мажайский Ю. А. Ограничения и резервы развития органического земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 109–116.

6. Helga W., Trávníček J., Meier C., Schlatter B. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2021. Bonn: Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM, 2021. 340 p.

7. Органика на 100% // Информационный бюллетень Минсельхоза России. 2019. № 1. С. 46.

8. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p.

9. Welty L. E., Hensleigh P.F., Stewart V.R. Methods for sod-seeding of small-seeded legumes and grasses. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf (дата обращения 30.08.2022).

10. Патент РФ № 2742436. Сеялка полосного посева // Авторы: Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Исупов А. Ю., Зырянов Д. С., Гайдидей С. В., Черемисинов Д. А. Патентообладатель: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Бюлл. № 4. 05.02.2021.

11. Патент РФ №2641073. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления // Авторы: Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Патентообладатель: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». Бюлл. № 2. 15.01.2018.

12. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М.: Ленанд, 2017. 416 с.

13. Черемисинов Д. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы почвообрабатывающе-посевного агрегата и основных параметров его сошниковой группы. Дисс. … канд. техн. наук. Киров: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». 2013. 170 с.

References

1. Sysuev V. A., Dyomshin S. L., Cheremisinov D. A., Doronin M. S. Theoretical justification of the main parameters of the coulter group of the sod seeder for strip sowing // Agricultural Science Euro-North-East. 2020. No. 21. P. 321–331. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331.

2. Kirchmann H., Bergstrom L. Organic crop production – ambitions and limitations. Dordrecht: Springer, 2008. 244 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-9316-6.

3. Rubanov I. N., Fomin A. A. Organic agriculture: distribution and development prospects in the Russian Federation // International Agricultural Journal. 2018. No. 6. P. 50–55. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-16095.

4. Van Mansvelt Ya. D., Temirbekova S.K. General position of organic agriculture in Western Europe: concept, practical aspects and global prospects // Sel'skokhozyaistvennaya Biologia [Agricultural Biology]. 2017. No. 3. P. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.

5. Seregina T. A., Zhilnikov A. A., Mazhaysky Yu. A. Limitations and reserves of organic farming development // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 5. P. 109–116.

6. Helga W., Trávníček J., Meier C., Schlatter B. The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2021. Bonn: Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM, 2021. 340 p.

7. Organic 100% // Newsletter of the Ministry of Agriculture of Russia. 2019. No. 1. P. 46.

8. Baker C. J., Saxton K. E., Ritchie W. R., Chamen W. C. T., Reicosky D. C., Ribeiro M. F. S., Justice S. E., Hobbs P. R. No-tillage seeding in conservation agriculture. 2nd ed. FAO and CAB International, 2007. 326 p.

9. Welty L.E., Hensleigh P.F., Stewart V.R. Methods for sod-seeding of small-seeded legumes and grasses [Electronic resource]. Access point: http://www.animalrangeextension.montana.edu /forage/documents/methods%20for%20sod-seeding%20of%20small-seeded%20legumes%20and%20grasses.pdf (reference's date 30.08.2022).

10. Patent RF No. 2742436. Seeder for strip sowing // Authors: Sysuev V. A., Dyomshin S. L., Isupov A. Yu., Zyryanov D. S., Gaididei S. V., Cheremisinov D. A. Patent holder: Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. Bul. No. 4. 05.02.2021.

11. Patent RF No. 2641073. The method of strip sowing of grass seeds in the sod and a seeder for its implementation // Authors: Sysuev V.A., Dyomshin S.L., Cheremisinov D.A. Patent holder: Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. Bul. No. 2. 15.01.2018.
12. Biderman V. L. Theory of mechanical vibrations. Moscow: Lenand, 2017. 416 p.
13. Cheremisinov D. A. Substantiation of the design and technological scheme of the tillage-sowing unit and the main parameters of its coulter group. Diss. … Cand. Sc. (Techn.). Kirov: Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky. 2013. 170 p.

UDC 631.331.8

Gaididei S. V., Demshin S. L., Isupov A. Yu.

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF THE COULTER GROUP OF THE SOD SEEDER FOR STRIP SOWING

Summary. *The most effective, resource-saving and environmentally friendly method of restoring the productivity of fodder lands is the strip sowing of grass seeds into a sod. There are some disadvantages in the existing seeding device for strip sowing of grasses: space under the milling furrower's cover is clogged with plant residues and crushed soil; quality of sowing is reduced due to uneven raising of the coulter toe relative to its back part. The purpose of the research was to determine design and technological parameters of the coulter group with leashes in the form of torsion springs, which makes it possible to improve the quality of sowing grass seeds with the simultaneous application of mineral fertilizers. The proposed scheme of the coulter group of the sod seeder involves the removal of the fertilizer guide from the space under the milling furrower's cover and installation of a double coulter for applying mineral fertilizers and sowing grass seeds on the suspension mechanism in the form of a parallelogram. During the theoretical research, a mathematical model describing the motion of the coulter group of the seeder has been obtained. The conditions under which the dynamic equilibrium of the mechanical system is possible have been considered. The dependence of the leashes deviation angle at the dynamic equilibrium of the coulter group on the initial leashes angle, the torsion springs stiffness and the seeder speed has been investigated. If the torsion spring stiffness is equal to 150 N/rad, changing of the initial leashes angle from 50° to 75° will increase the angle φ_0 from 5° to 9.2°. If its stiffness is equal to 250 N/rad, similar changing of the angle α0 will increase the angle φ_0 from 3.2° to 5.8°. If seeder speed is equal to 1 m/s, an increase in the torsion spring stiffness from 150 to 250 N/rad will decrease the angle φ0 from 1.6° to 1°. If speed is 3 m/s, angle φ_0 will decrease from 7.9° to 5.1°. The obtained dependences show that the value of the angle φ_0 is significantly influenced by the change in the initial angle of the leash installation and the speed of the coulter group. At high speeds, the most significant factor for maintaining the stable motion of the coulter at the junction of extremely aperiodic motion and damped oscillations is the stiffness of the torsion spring.*

Keywords: *strip sowing of grass seeds, sod seeder for strip sowing, coulter group, mechanism in the form of a parallelogram.*

Гайдидей Сергей Владимирович, старший преподаватель кафедры энергетических средств и технического сервиса, ФГБОУ ВО Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина; 160555, Россия, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; e-mail: sgajdidej@mail.ru.

Дёмшин Сергей Леонидович, доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией механизации полеводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: sergdemshin@mail.ru.

Исупов Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории механизации животноводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-

Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: isupoff.aleks@yandex.ru.

Gaididei Sergei Vladimirovich, senior lecturer of the Chair of Energy Devices and Technical Service, FSBEI of HE “Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin”; 2, Shmidta str., Molochnoe, Vologda, Vologda region, 160555, Russia; e-mail: sgajdidej@mail.ru.

Demshin Sergey Leonidovich, Dr. Sc. (Techn.), head of the Laboratory of field mechanization, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: sergdemshin@mail.ru.

Isupov Aleksey Yurievich, Cand. Sc. (Techn.), senior researcher of the Laboratory of field mechanization, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky”; 166a, Lenin str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: isupoff.aleks@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию – 20.04.2022.
Дата принятия к печати – 26.08.2022.