

мешивание удобрения. Так, на рис. 4 совмещены зависимости перемещения частиц удобрения от угла подъема винтовой линии и угловой скорости ворошителя. Из рис. 4 видно, что одинаковое перемешивание удобрения происходит при угле подъема винтовой линии 14° и угловой скорости ворошителя $3,1 \text{ с}^{-1}$.

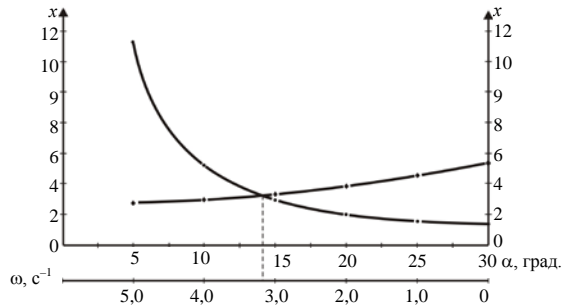


Рис. 4. Зависимость перемещения частиц удобрения от угла подъема винтовой линии и угловой скорости ворошителя
ВЫВОД

Получено полное решение дифференциального уравнения, характеризующего взаимодействие коническо-винтового ворошителя-сводообрушителя с минеральным удобрением.

В уравнениях (23) и (28) установлены взаимозависимости пути перемещения во времени элементарного объема минерального удобрения по витку винтовой спирали ворошителя и ее относительной скорости от важнейших конструктивных и технологических параметров, таких как угол образующей конуса к его оси, угол подъема винтовой линии, радиус винтовой поверхности, коэффициенты внешнего и внут-

реннего трения и угловая скорость. Варьируя каждый из указанных параметров, можно выбрать их оптимальные сочетания в зависимости от принятого критерия эффективности ворошения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алферов, П. В. Бункеры, затворы и питатели. Основы проектирования и расчета / П. В. Алферов. – М.: Машгиз, 1946. – С. 35.
2. Кошанов, О. М. Изыскание устройства для предотвращения образования в бункерах застойных зон и сводов трудносипучих сельскохозяйственных материалов и обоснование его параметров, режимов работы: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. М. Кошанов. – Рязань, 1987. – 22 с.
3. Тарасов, А. Г. Исследования вибрационного сводообрушения кормов в бункерах на птицефабриках: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Тарасов. – Саратов, 1976. – 24 с.
4. Методика оценки качества внесения минеральных удобрений / П. Н. Побединский [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 1988. – № 4. – С. 48.
5. Высевающее устройство: пат. 19008 РК / С. О. Нукешев; опубл. 15.12.2010 // Бюл. – № 12. – 4 с.
6. Нукешев, С. О. Результаты теоретического исследования коническо-винтового ворошителя. Актуальные проблемы современности / С. О. Нукешев, Д. З. Есхожин, А. Ж. Аскарлова // Международный научный журнал. Серия «Технические науки». – 2009. – № 1 (35). – С. 63–65.
7. Рустембаев, Б. Е. Теоретические предпосылки к определению параметров пружинно-винтового ворошителя / Б. Е. Рустембаев, А. М. Абдиров, С. О. Нукешев // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1999. – № 4. – С. 127–130.

Поступила 12.12.2011

УДК 631.3.072

**ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАКТОРА
С СЕЛЬХОЗОРУДИЕМ
С УЧЕТОМ ИХ МАЛЫХ ВЗАИМНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Кандидаты техн. наук ВАЩУЛА А. В.¹⁾, ЗАХАРОВ А. В.¹⁾,
асп. ЗАХАРОВА И. О.¹⁾, инж. КАЛУГИНА О. Н.²⁾

¹⁾Белорусский аграрный технический университет,

²⁾ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Для Республики Беларусь характерна мелкоконтурность полей, обусловленная развитой сетью дорог и электролиний, наличием строений, отдельных деревьев, валунов, местных понижений (блюдец), сложным макрорельефом местности. В таких условиях, а также с учетом наличия почв с высоким удельным тяговым сопротивлением целесообразно использовать навесные агрегаты, например пахотные.

Для эффективной эксплуатации таких агрегатов необходимо обеспечить их уравнивание в продольной плоскости. Так, в условиях рядовой эксплуатации, например при работе на косогоре, маневрировании на машинно-тракторном агрегате (МТА), действуют отклоняющие моменты, вызывающие искривление траектории движения трактора. В ручном режиме на тракторах устаревших моделей в силу специфики системы поворота реализовать данное предложение невозможно.

Чтобы повысить коэффициент полезного действия (КПД) агрегата на базе колесного трактора, используют системы силового и позиционного регулирования, позволяющие уменьшить силу трения в контакте почвообрабатывающего орудия с почвой. Однако указанные системы обеспечивают плоскопараллельное перемещение орудия относительно трактора и не учитывают возможности взаимных угловых перемещений.

Известны конструкции тракторов [1, 2], у которых в верхнюю тягу встроен гидроцилиндр с целью облегчения монтажа сельхозмашины. Известны также механизмы [3, 4], позволяющие регулировать распределение нормальных нагрузок между трактором и сельхозорудием путем изменения длины верхней тяги.

В [5] выполнен агрокинематический анализ работы навесного пахотного агрегата. Доказано, что при переезде неровностей рельефа в тягах заднего навесного устройства (ЗНУ) и передних брусках рамы плуга возникают дополнительные силы, вызывающие их деформацию. Кроме того, ухудшается равномерность хода корпусов по глубине. Авторы [5] предлагают рассчитывать кинематику переезда неровности исходя из того, что центр поворота находится в шкворне крепления задней балансирной каретки гусеничного трактора.

Для устранения выявленного недостатка предлагается создать ЗНУ, которое не препят-

ствовало бы взаимным перемещениям трактора и плуга. Отметим, однако, что на тракторах ВгТЗ традиционно используется верхняя тяга ЗНУ с пружинным компенсатором, которая, по мнению авторов, работает неэффективно.

Для обоснования параметров прогрессивных систем регулирования необходимо получить аналитическую модель малых продольно-угловых взаимодействий трактора и навесного орудия.

Аналитическая модель малых продольно-угловых перемещений. Известны три центра колесного трактора:

- центр тяжести (ЦТ) – точка, в которой приложена равнодействующая сил веса;

- центр упругости ходовой системы (ЦУ) – точка, в которой $\sum_{j=1}^n c_j l_{jЦУ} = 0$, где l_j – расстояния от j -го колеса до ЦУ, м; c_j – жесткость контакта колеса с почвой, кН/м;

- центр вращения тяг навески (точка π) – точка пересечения в продольной плоскости осей верхней и нижних тяг. Изменяя положение центра π , например, переставляя шарнир крепления верхней тяги на тракторе, можно изменять продольную координату l_π – расстояние до оси копирующего колеса навесной машины: чем больше l_π , тем меньше влияют на нагрузку Y_n относительные перемещения трактора и сельхозорудия.

Определим связь между перемещением u ЦУ, продольными поворотами (дифферентами) φ корпуса трактора и рамы передненавешенного сельскохозяйственного орудия ψ , величиной перемещения q опорного колеса орудия, используя методики Г. С. Горина [6, 7], разработанные для гусеничных тракторов. Будем считать, что продольно-угловые перемещения трактора φ , орудия ψ и нижней тяги навески $d\alpha_{AB}$ положительные, если их передняя часть движется вниз. Примем также, что u и $q_{пл}$ положительны, если направлены вниз, и отрицательны, если направлены вверх. Положительны толкающие реакции почвы, отрицательны силы сопротивления орудия, направленные назад. Положительны силы веса и усилия сжатия тяг навесного устройства, отрицательны нормальные реакции. В этом случае к трактору приложено усилие R_x , направленное назад, а к орудию – реакция $P_{кр}$, направленная вперед.

В соответствии со схемой (рис. 1) проведем оси координат:

- нормальную y – вниз через ЦУ;
- продольную x – вперед через точки контакта колес с опорной поверхностью, или

$$\begin{cases} r_{CD} \cos \alpha_{CD} + r_{AD} \sin \alpha_{AD} = \\ = r_{BC} \sin \alpha_{BC} + r_{AB} \cos \alpha_{AB}; \\ r_{CD} \sin \alpha_{CD} + r_{AD} \cos \alpha_{AD} = \\ = r_{BC} \cos \alpha_{BC} - r_{AB} \sin \alpha_{AB}, \end{cases} \quad (1)$$

где r_{AB} и r_{CD} – длины тяг навесного устройства соответственно нижней AB и верхней CD ; r_{BC} – высота стойки BC ; r_{AD} – расстояние между точками крепления A и D тяг на тракторе; α_{AB}

и α_{CD} – углы наклона к горизонтали тяг AB и CD ; α_{BC} и α_{AD} – углы наклона к вертикали соответствующих звеньев.

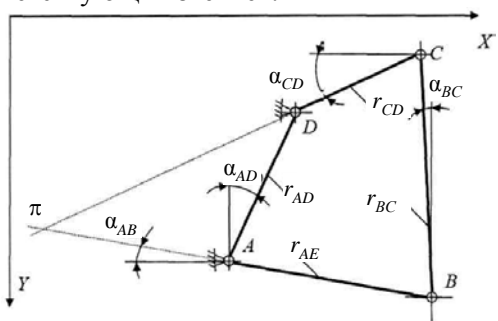


Рис. 1. Схема заднего навесного устройства трактора

Продифференцируем систему уравнений (1)

$$\begin{cases} -r_{CD} \sin \alpha_{CD} d\alpha_{CD} + r_{AD} \cos \alpha_{AD} d\alpha_{AD} = \\ = r_{BC} \cos \alpha_{BC} d\alpha_{BC} - r_{AB} \sin \alpha_{AB} d\alpha_{AB}; \\ r_{CD} \cos \alpha_{CD} d\alpha_{CD} - r_{AD} \sin \alpha_{AD} d\alpha_{AD} = \\ = -r_{BC} \sin \alpha_{BC} d\alpha_{BC} - r_{AB} \cos \alpha_{AB} d\alpha_{AB}. \end{cases} \quad (2)$$

Будем рассматривать малые продольно-угловые отклонения (дифференты) и перемещения трактора и орудия, поэтому обозначим: $d\alpha_{AD} = \varphi$, $d\alpha_{BC} = \psi$.

Из уравнений (2) выразим также приращение угла наклона нижней тяги

$$d\alpha_{AB} = \frac{-y - \varphi l_{АЦУ} + q_{пл} - \psi l_{пл}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}}, \quad (3)$$

где y – вертикальные линейные перемещения ЦУ трактора; $q_{пл}$ – вертикальные линейные перемещения копирующего колеса орудия на неровности; φ – дифферент трактора вокруг ЦУ; ψ – дифферент рамы орудия; $l_{АЦУ}$ – расстояние от точки крепления A нижней тяги навески на тракторе до ЦУ; $l_{пл}$ – расстояние от оси копирующего колеса до оси подвеса B .

Преобразуем систему уравнений (2), исключив члены, содержащие $d\alpha_{CD}$. После подстановки выражения для $d\alpha_{AB}$ и преобразований получим уравнение связи малых продольно-угловых перемещений трактора и навесного орудия

$$\begin{aligned} f(\varphi, \psi, y, q_{пл}) = \varphi \left[1 - K_2 \frac{l_{АЦУ}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] - \\ - \psi \left[K_1 - K_2 \frac{l_{пл}}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} \right] + (q_{пл} - y) \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты, рассчитываемые по формулам:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{r_{BC} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{BC})}{r_{AD} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{AD})}; \\ K_2 &= \frac{r_{AB} \sin(\alpha_{CD} + \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{AD})}. \end{aligned} \quad (5)$$

По теореме синусов имеем

$$\begin{aligned} \frac{r_{AD}}{\sin(\alpha_{CD} + \alpha_{AB})} &= \frac{\rho_{A\pi}}{\sin(90^\circ - \alpha_{CD} - \alpha_{AD})} = \\ &= \frac{\rho_{A\pi}}{\cos(\alpha_{CD} + \alpha_{AD})}, \end{aligned}$$

откуда

$$\frac{1}{\rho_{A\pi}} = \frac{\sin(\alpha_{CD} + \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{AD})}. \quad (6)$$

С учетом (6) преобразуем член, входящий в уравнение связи (4):

$$\begin{aligned} \frac{K_2}{r_{AB} \cos \alpha_{AB}} &= \frac{\sin(\alpha_{CD} + \alpha_{AB})}{r_{AD} \cos(\alpha_{CD} + \alpha_{AD}) \cos \alpha_{AB}} = \\ &= \frac{1}{\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB}$ – расстояние от точки A до центра π .

Тогда с учетом выражения (7) перепишем уравнение связи (4) в следующем виде:

$$(q_{\text{пл}} - y) - \phi l_{\text{АЦУ}} + \psi l_{\text{пл}} = \rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB} (\psi K_1 - \phi). \quad (8)$$

В статике ($P_{\text{кр}} = 0$, $V = 0$) корпуса трактора и орудия приобретают некоторые начальные положения:

$$-y = y^0;$$

$$-\phi = \phi^0;$$

$-\psi^0 = 0$ (по условию регулировки плуга на равномерность хода корпусов орудия).

Тогда

$$q_{\text{пл}}^0 = y^0 - \phi^0 (\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB} - l_{\text{АЦУ}}). \quad (9)$$

Если $Y^0 = 0$, а $\phi^0 (+)$ и $(\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB} - l_{\text{АЦУ}}) > 0$, то $q_{\text{пл}}^0 < 0$ – колесо навесного орудия нагружается.

Если $Y^0 = 0$, а $\phi^0 (-)$ и $(\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB} - l_{\text{АЦУ}}) < 0$, то $q_{\text{пл}}^0 > 0$ – колесо навесного орудия разгружается.

Из формулы (9) следует, что если $\rho_{A\pi} \cos \alpha_{AB} = l_{\text{АЦУ}}$, т. е. центр π совпадает с ЦУ, то перемещения корпуса трактора не вызывают поворот корпуса сельхозорудия. Фактически на серийных тракторах ЦУ и π не совпадают. При дифференте корпус трактора сжимает верхнюю тягу и поворачивает корпус орудия, что нашло подтверждение в проведенных авторами статьи в ГУ «БелМИС» экспериментальных исследованиях. Поэтому для стабилизации орудия нужно регулировать длину верхней тяги. Регулировка ее длины должна быть разной (система регулирования должна быть активной) в процессе рабо-

ты, так как конфигурация и размеры неровностей разные.

ВЫВОДЫ

1. При работе навесного агрегата дифферент корпуса трактора приводит к повороту рамы орудия, что нарушает агротехнику выполнения сельскохозяйственной операции.

2. Воздействие трактора на орудие при малых продольно-вертикальных перемещениях передается «стеснением» верхней тяги. Для устранения этого воздействия необходимо регулировать длину верхней тяги.

3. Сигналом для регулирования могут служить данные, получаемые от датчика усилий, установленного в шарнире крепления нижней тяги. При этом серийный датчик усилий должен быть переориентирован нормально нижней тяге навесного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 2007063 Рос. Федерации, МПК А01В59/043 / Оpubл. 15.02.1994.
2. Пат. US 6.697.454 В2 США, МПК А01В 65/112 / Оpubл. 16.03.1997.
3. Патент US 6.698.524 В2 США, МПК А01В 63/112 / Оpubл. 02.03.2004.
4. Патент US 6.321.851 В1 США, МПК А01В 59/04 / Оpubл. 27.11.2001.
5. Огрызков, Е. П. Агрокинематический анализ навесных систем «трактор – плуг» / Е. П. Огрызков, В. Е. Огрызков, П. В. Огрызков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 12. – С. 15–17.
6. Горин, Г. С. К динамике гусеничного трактора класса 3 тонны / Г. С. Горин // Вопросы сельскохозяйственной механики: науч. тр. – Минск: Урожай, 1976. – С. 42–77.
7. Горин, Г. С. Расчет общей и тяговой динамики поддресоренного трактора / Г. С. Горин // Вести Национальной академии наук Беларуси. Сер. «Аграрные науки». – 2009. – № 1. – С. 91–98.

Поступила 19.03.2012