

фия / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.

3. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научный аналитический обзор. – Москва, 2007. – 130 с.

4. Тарасенко, В.Е. Эксплуатация дизельных двигателей при использовании растительного топлива / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник в 2 т. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 18–29.

5. Бобровник, А.И. К вопросу использования растительного топлива на основе рапсового масла / А.И. Бобровник, В.Е. Тарасенко, Н.С. Лесов // Агропанорама. – 2013. – № 6. – С. 32–36.

6. Марков, В.А. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля / В.А. Марков [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 43–48.

### **УДК 629.3**

**Головач В. М., ассистент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, РБ*

## **КИНЕМАТИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ПОЛНОПРИВОДНОГО ТРАКТОРА**

### **Введение**

Особенности современных МТА - рабочая ширина захвата, обычно не превышающая 6,5 м, и большая кинематическая длина, достигающая 17 ... 18 м; относительно большой удельный вес полуприцепных сельскохозяйственных машин, создающих тяговое сопротивление на повороте. Это привело к увеличению ширины поворотной полосы, достигшей  $B = 40 \dots 50$  м. Чтобы снизить ширину последней по мере прохождения рабочего гона выглубляют поочередно первый, второй и т.д. корпуса плуга.

### Основная часть

При анализе управляемости и устойчивости движения в зависимости от характера решаемых задач применяют расчетные схемы взаимодействия эластичных колес с основанием, предложенные Рокаром, Грейденусом и Келдышем. В наиболее распространенной схеме Рокара принято допущение о том, что в процессе поворота плоскость качения пневматического колеса повернута под углом бокового увода  $\varphi_{\delta}$  к направлению движения. При этом к колесу приложена боковая сила  $P_{\delta}$ , пропорциональная углу бокового увода  $\varphi_{\delta}$ . У реальных колес при  $\varphi_{\delta} > 5^{\circ}$  зависимость  $P_{\delta} = f(\varphi_{\delta})$  обычно нелинейная, а коэффициент сопротивления боковому уводу  $K_{\delta} = \partial P_{\delta} / \partial \varphi_{\delta}$  с ростом боковой силы уменьшается. В литературе приводятся значения  $K_{\delta}$ , соответствующие углу  $\varphi_{\delta} = 5^{\circ}$ . Поэтому при больших углах увода колес модель Рокара неприменима.

В расчетной схеме степенями свободы И.Х. Грейдануса помимо бокового увода учитывается угловая деформация скручивания пневматика  $\varphi_1$  вокруг нормали к опорной поверхности и возникающие при этом стабилизирующие моменты

$$M_{\text{ст}} = C_1 \varphi_1 \quad ,$$

где  $C_1$  – коэффициент углово жесткости, кН·м/град.

Наши исследования[3] показали, что при повороте полноприводного трактора велики углы кинематического увода и сдвига контактного отпечатка шин в продольной плоскости.

Экспериментальным исследованиям предшествовали аналитические[3,4] и экспериментальные, описанные в работах[5,6]. Последние показали, что внешний отклоняющий момент тяговой силы следует рассчитывать относительно полюса трения, расположенного в центре пятна контакта заднего внутреннего(по отношению к центру скоростей колеса  $i=4$ ). Кроме того, данные исследования подтвердили большую роль параметров МКД в формировании углов кинематического увода колес, а следовательно, и кинематики поворота.

Формирование кинематического увода колёс при неповернутом корпусе трактора описано в работах Горина Г.С.[3,4]. На рис. 1 по-

казана кинематическая схема поворота неуправляемой ведущей тележки, какой является ЗВМ. Если поворот происходит вокруг геометрического центра  $O_T$ , то соотношение скоростей колёс

$$\frac{V_3^0}{V_4^0} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{R_3^0}{R_4^0},$$

а радиус поворота тележки

$$R_{34}^0 = \frac{R_3^0 + R_4^0}{2} = \frac{B}{V_3^0 - V_4^0} (V_3^0 - V_4^0).$$

Если МКД – управляемый активный (с подводом энергии), то скорость внешнего колеса на повороте увеличивается на величину  $\bar{V}_{13}$  при сохранении средней скорости. Соединив линией под углом  $\alpha_{12} + \varphi$  концы векторов  $\bar{V}_3^0 + \Delta\bar{V}_{13}$  и  $\bar{V}_{34}$ , найдём новый центр  $O_\delta^+$  скоростей. Здесь  $\varphi$  – угол кинематического увода. Из рис. 1а следует, что увеличение скорости внешнего колеса при одновременном снижении скорости внутреннего приводит к уменьшению радиуса поворота

$$R^- = R^0 \frac{1 - \varphi \operatorname{tg} \alpha_{12}}{1 + \frac{\varphi}{\operatorname{tg} \alpha_{12}}}.$$

Если МКД – пассивный, то скорость внешнего колеса на повороте уменьшается на величину  $\Delta\bar{V}_{13}$  при сохранении средней скорости, соединив линией под углом  $\alpha_{12} - \varphi$  концы векторов  $V_3^0 + V_4^0$  и  $\bar{V}_{34}$ , найдём новый центр  $O_\delta^-$ . Радиус поворота тележки найдём по формуле:

$$R^+ = \frac{B}{V_3^0 - V_4^0 - 2\Delta V_{13}} (V_3^0 + V_4^0),$$

$$R^+ = R^0 \frac{1 + \varphi \operatorname{tg} \alpha_{12}}{1 - \frac{\varphi}{\operatorname{tg} \alpha_{12}}}.$$

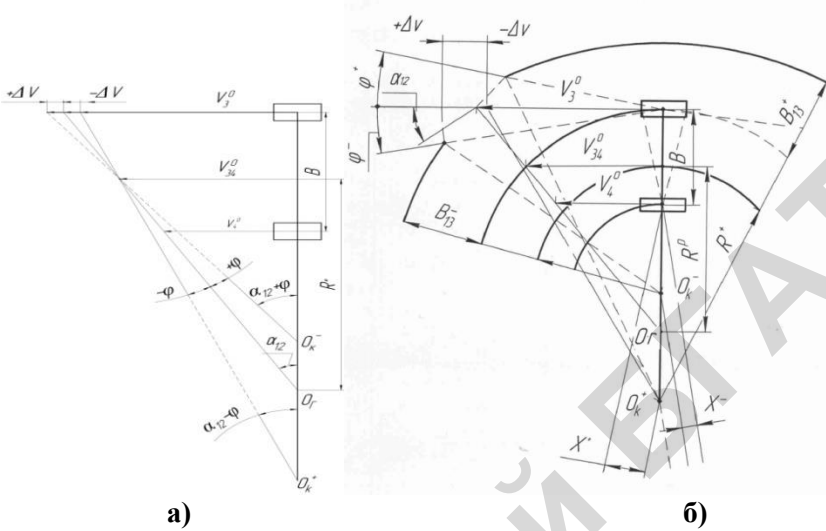


Рисунок 1 – План скоростей колёс ЗВМ при повороте:  
 а) без разворота корпуса ТТС, б) с разворотом корпуса

Формирование углов кинематического увода при развороте корпуса трактора представлено на рис.1б. При повороте корпуса трактора против часовой стрелки (с прокатыванием внешних колес вперед с помощью активного управляемого МКД) вокруг кинематического центра  $O_{\delta}^{-}$  показатели кинематики поворота - радиусом поворота  $R_{\delta}^{-}$  шириной следа колес внешнего борта  $B_{13}^{+}$  - хуже, а центр скоростей смещением вперед  $X_{\delta}^{-}$ . При повороте корпуса трактора по часовой стрелке (с прокатыванием внешних колес назад  $R_{\delta}^{+}$ ) происходит вокруг кинематического центра  $O_{\delta}^{+}$  с радиусом поворота, шириной следа колес внешнего борта  $B_{13}^{-}$  и смещением центра скоростей назад  $X_{\delta}^{+}$ .

Догрузив колесо  $i=3$ , можно сместить в его центр полюс трения и поменять кинематику поворота. Эта идея имеет прикладное значение лишь для регулирования курсовой устойчивости трактора при пахоте с несимметричной тяговой нагрузкой.

При повороте трактора с включенным приводом ПВМ и  $P_{кр}=40$  кН растут буксования колес:

- передних: от  $\delta_1=-(0,028...0,0043)$  до  $0,064...0,074$ , от  $\delta_2=-$

(0,064...0,110) до 0,110...0,125;

- задних: От  $\delta_3 = -(0,041...0,084)$  до 0,106...0,180, от  $\delta_4 = -(0,015...0,07)$  до 0,100...0,145.

Уменьшается соотношение скоростей внешних колес к внутренним:

- передних: с  $k_{12} = 1,08$  до 1,0 при  $\alpha_{12} = 9^\circ$ , с  $k_{12} = 1,24$  до 1,05 при  $\alpha_{12} = 23^\circ$ ,

- задних: с  $k_{34} = 1,09$  до 1,065 при  $\alpha_{12} = 9^\circ$ , с  $k_{34} = 1,25$  до 1,20 при  $\alpha_{12} = 23^\circ$ .

Растут радиусы поворота и продольное смещение центра скоростей:

при  $\alpha_{12} = 9^\circ$  с  $R = 23,30$  м до  $R = 45,85$  м, с  $x = 16,03$  м до  $x = 24,00$  м.

при  $\alpha_{12} = 14^\circ$  с  $R = 11,12$  м до  $R = 18,10$  м, с  $x = 7,4$  м до  $x = 9,70$  м.

при  $\alpha_{12} = 23^\circ$  с  $R = 8,66$  м до  $R = 12,2$  м, с  $x = 4,66$  м до  $x = 5,12$  м.

Суммарные углы увода колес уменьшаются с увеличением  $\alpha_{12}$ :

при  $\alpha_{12} = 9^\circ$  с  $38-47^\circ$  до  $\varphi_i^\Sigma = 39...45^\circ$ ,

при  $\alpha_{12} = 14^\circ$  с  $25-36^\circ$  до  $\varphi_i^\Sigma = 24...27^\circ$ ,

при  $\alpha_{12} = 23^\circ$  с  $12-19^\circ$  до  $\varphi_i^\Sigma = 18...25^\circ$ .

Сравнение показателей кругового поворота при включенном и отключенном приводе колес ПВМ. При круговом повороте с  $\alpha_{12} = 23^\circ$  без тяговой нагрузки и выключенном приводе ПВМ эффект самоторможения возникает из-за большого передаточного числа бортовых редукторов. Сохраняются отрицательные буксования передних колес, буксование заднего колеса  $i=3$  достигает  $\delta_3 = 0,38...0,40$ , а колеса  $i=4$   $\delta_3 = 0,33...0,36$ . При выключенном ПВМ на передних колесах возникали большие отрицательные силы тяги, что приводило к большим углам разворота корпуса  $\varphi = 26^\circ-34^\circ$ , и радиусам поворота  $R = 9,4$  м. При включенном ПВМ  $\varphi = 16^\circ-19^\circ$  и  $R = 8,655$  м вместо рассчитанного по геометрическим параметрам  $R = 6,95$  м. Одновременно возрастали смещения центра скоростей назад за задний мост до  $X = -2,98$  м при ПВМ выключенном и до  $X = -4,66$  м при включенном ПВМ.

При выключенном ПВМ и  $\alpha_{12} = 23^\circ$  во всем диапазоне тяговых нагрузок до  $P_{кр} = 40$  кН:

- растут радиусы поворота и смещения центра скоростей назад:

- до  $R=12,86$  м при выключенном ПВМ,  $X=7,36$ м,
- до  $R=8,66$  м при включенном ПВМ,  $X=5,12$ м.,
- растут буксования колес и их приращения:
  - $\delta_1=0,074$ ,  $\Delta\delta_1=0,02\dots 0,03$ ,  $\delta_2=0,112$ ,  $\Delta\delta_2=0,02\dots 0,045$ ,
  - $\delta_3=0,179$ ,  $\Delta\delta_3=-0,220$ ;  $\delta_4=0,145$ ,  $\Delta\delta_4=0,22$
- Уменьшается соотношение теоретических скоростей внешних колес к внутренним:  $k_{34}$  с 1,25 до 1,2;  $k_{12}$  с 1,25 до 1,09 при  $P_{кр}= 25$  кН и до 1,01(МКД ПВМ блокируется) при  $P_{кр}= 40$  кН.

### Заключение

1. Отрицательное влияние подключаемого блокированного привода проявляется в появлении отрицательных касательных сил тяги при круговом повороте с включенным и отключенным приводом колес ПВМ без тяговой нагрузки
2. Уменьшить отрицательные последствия применения самоблокирующихся МКД ПВМ и подключаемого МБП колес ПВМ можно уменьшить, применяя активные (с подводом энергии к внешним и управляемым колесам) МКД и МДП [7].

### Список использованной литературы

1. Белоусов Б.Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкции. Теория. Расчет /Б. Н. Белоусов, С. Д. Попов. М.: МГТУ им Баумана, 2006.—728 с.
2. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов. – Москва: Колос – 1974. – 480с.
3. Горин Г.С. Тяговая динамика, поворачиваемость и силовые потоки мобильных тягово-энергетических средств.-Минск: Наука и техника.-2013.-373с.
4. Горин Г.С. Разработка гибридной теории поворота машинно- тракторного агрегата. Кинематика/Г.С. Горин//Вес. Нац. Акад. Наук Беларуси. Сер. Аграр.наук.-2012.-№1.-С.91-107.
5. Горин Г. С. Разработка гибридной теории установившегося поворота машинно – тракторного агрегата (МТА). Динамика /Г. С. Горин, В. М. Головач, Я. Ю. Жгут // Агропанорама.- 2011. – С. 8.-13.
6. Горин Г.С. Стабилизация корпуса трактора при повороте с тяговой нагрузкой/Г. С. Горин, В.М. Головач//Вес. Нац. Акад.

наук Беларуси. Сер. аграрн. наук.-2007.-№2.- С. 15-17.

7. Гладов Г.И. Дифференциал с управляемым распределением крутящих моментов по колесам автомобиля. /Г.И. Гладов, С.А. Лобанов. // Автомобильная промышленность, - 2004,- №5, - с.36...40

### **УДК 629.336.063**

**Д.А. Жданко, к.т.н., доцент, А.В. Новиков, к.т.н., доцент,  
А.А. Зенько А.А., студент**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## **ВАЛ ОТБОРА МОЩНОСТИ ТРАКТОРА С БЕССТУПЕНЧАТЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ**

### **Введение**

Машины с активным приводом рассчитаны на определенную частоту вращения ВОМ, при которой обеспечивается необходимое качество выполняемого технологического процесса. Особенно это важно для обеспечения требуемого качества уборочных, посевных работ. Так, изменение частоты вращения ВОМ при уборке силосных культур, заготовке сенажа приведет к изменению длины резки и даже к забиванию силосопроводов кормоуборочных комбайнов.

Работа же двигателя на максимальной частоте вращения экономически нецелесообразна, так как будет иметь место повышенный расход топлива.

Применение синхронного привода ВОМ не решает обозначенную проблему, так как этот привод синхронизирует частоту вращения ВОМ и скорость движения МТА.

В связи с этим для обеспечения требуемого качества выполнения работ МТА с машинами с активным приводом требуется изыскание возможности стабилизации вращения ВОМ вне зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя [1].

### **Основная часть**

По нашему мнению для бесступенчатого изменения частоты