

нии скорости движения почвообрабатывающих МТА с гусеничными и колесными движителями на уплотнение почвы, и довольно точно воспроизводят зависимости их давления на почву  $q$  от скорости движения  $\vartheta$ .

### Список использованной литературы

1. Новиков, А.В. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка: учебное пособие / А.В. Новиков [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2011. – 327 с.: ил.
2. Афанасьев, Н.И. Влияние уплотнения машинно-тракторными агрегатами на свойства, режимы почвы и урожай сельскохозяйственных культур: Дерново-подзолистые почвы Белоруссии / Н.И. Афанасьев, И.И. Подобедов, А.Н. Орда // Переуплотнение пахотных почв: Причины, следствия, пути уменьшения. – М.: Наука, 1987. – с. 46-59.
3. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Ксеневиц, И.П. Ходовая система почва-урожай / И.П. Ксеневиц, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.

УДК 629.114. 2

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВЕДУЩЕГО КОЛЕСА С ШИНОЙ НА КРУГОВОМ ПОВОРОТЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

**А.И. Бобровник<sup>1</sup>**, д.т.н., профессор, **Г.И. Таяновский<sup>1</sup>**, к.т.н., доцент,  
**Т.А. Варфоломеева<sup>2</sup>**, старший преподаватель,  
**Н.А. Поздняков**, старший преподаватель<sup>1</sup>, **М.А.Шпак<sup>2</sup>**, студент  
<sup>1</sup>УО «Белорусский национальный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь

### Введение

При исследованиях криволинейного движения сельскохозяйственного трактора необходимо сформировать

расчетную схему колеса с пневматической шиной при установившемся круговом повороте на грунтовой опорной поверхности, выбрать адекватное для рассматриваемых задач эмпирическое математическое описание и разработать электронную модель в программном приложении Simulink.

### **Основная часть**

Создание модульных с.-х. машин новых концепций и компоновочных схем с тягово-приводными колесными тележками на основе гидромеханических, электромеханических передач предопределяет востребованность моделирования их динамики и необходимость описания взаимодействия колес с грунтом.

Цель работы - изыскание рациональной компьютерной модели ведущего колеса с шиной, движущегося в установившемся повороте по деформируемому основанию. Модель необходима как один из элементов модели машины для последующего анализа на ЭВМ ее тягового и маневрового свойств и выбора рациональных схем, компоновки, параметров, алгоритмов управления.

Расчетная схема колеса при круговом повороте

Адекватность результатов анализа свойств машины предопределяет выбранная модель качения колеса. В работе модель сформирована на основе изучения изысканий, испытаний шин отечественных ученых, представлений о качении пневматика с упругим основанием, изложенных в работах: Рокара И., Эллиса Д.Р., Келдыша М.В., Грейдануса, Неймарка В.И., Фуфаева Н.А., Опейко Ф.А., Литвинова А.С., Фаробина Я.Е., Левина М.А., Кацыгина В.В., Беккера М.Г., Скотникова В.А., Жукова А.В., Гуськова В.В., Вирабова Р.В., Петрушова В.А., Погосбекова М.И., Смирнова А.А., Вонга Дж., Пирковского Ю.В., Чистова М.П., Аксенова П.В., Троянской И.П., Бойкова В.П., Сазонова И.С., Кима В.А. и др.

При большом числе ведущих поворотных и неповоротных колес в ходовой системе машины высокой проходимости имитационное моделирование их на основе аналитических описаний каждого колеса становится малопродуктивным.

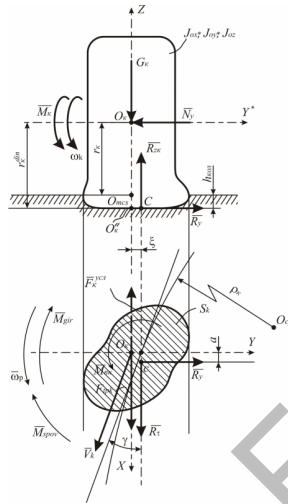


Рисунок 1 – Меридиональная срединная плоскость обода колеса перпендикулярная опорной поверхности

Поэтому в работе сформирована модель качения колеса с шиной на круговом повороте с постоянной угловой скоростью  $\omega_p$  с эмпирическими выражениями, аппроксимирующими реальные физические зависимости. Приняты приемлемые допущения для колеса, меридиональная срединная плоскость обода которого перпендикулярна опорной поверхности (см. рисунок 1).

Как показала натурная съемка колес с большой длиной контакта с опорной поверхностью, мгновенная проекция отпечатка шины при повороте на опорной поверхности повернута относительно вертикальной плоскости обода  $OXYZ$  и имеет вид, показанный на рисунке, где обозначено:  $G_k$  – сила, прижимающая колесо к опорной поверхности;  $M_k$  – ведущий вращающий момент, приложенный к ободу колеса;  $M_{pk}$  – поворачивающий момент, приложенный к оси колеса со стороны рулевого механизма;  $O_{mcs}$ ,  $r_k$  – мгновенный центр скоростей и радиус качения в ведущем режиме жесткого обода колеса;  $R_i$ ,  $R_{ij}$  – соответствующие направлениям осей системы координат действующие на шину реакции со стороны контакта с опорной поверхностью;  $I_{Okx^*}$ ,  $I_{Oz}$ ,  $I_{Oky^*}$  – моменты инерции колеса с шиной относительно оси вращения колеса  $O_k$ , вертикальной оси и горизонтальной оси, проходящей

через центр обода колеса в его срединной меридиональной плоскости  $OXZ$ ;  $F_k^{usl}$  – условная сила сопротивления качению ведущего колеса в плоскости  $OXZ$ ;  $\gamma$  – угол увода колеса;  $M_{gir}$  – гироскопический момент сопротивления повороту колеса;  $M_{spov}$  – момент сопротивления повороту контактной части шины относительно вертикальной оси;  $h_{kol}$  – глубина колеи;  $a, \xi$  – смещения точки приложения приведенных к равнодействующей и моменту  $M_{spov}$  всех реакций почвы на шину в пятне контакта относительно вертикальной проекции точки середины оси колеса;  $N_y$  – боковая сила, с которой остов машины действует на ось колеса;  $r_k^d$  – расстояние по вертикали от середины оси колеса до точки  $C$  приложения равнодействующей реакции грунта;  $r_k^c$  – радиус качения колеса с нагрузкой  $G_k$  в свободном режиме при отсутствии боковой силы – единый расчетный радиус для начала отсчета буксования ведущего колеса;  $\delta = l - r_k / r_k^c$ ;  $O_p$  – центр кругового поворота радиусом  $\rho_p$ , в предположении что два колеса тяговой тележки связаны с рамой машины и имеют разные углы установки [1].

Такой подход, при реализации описания колеса в виде компьютерной модели в программной среде для симуляции процессов машины, позволит использовать метод настраиваемой модели для ее идентификации.

Математическое описание

В качестве расчетных выбраны следующие эмпирические выражения для реакций в контакте шины с опорной поверхностью [2]:  
 - тангенциальной реакции с учетом буксования и угла увода колеса

$$R_t = G_k \cdot \varphi \cdot \left(1 - e^{-k_\delta \cdot e^{-v \cdot \gamma} \delta}\right)$$

- боковой реакции с учетом угла увода и буксования колеса

$$R_y = \frac{G_k}{G_{k0}} \cdot k_\gamma \cdot \gamma \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot \gamma}\right) \cdot \frac{1}{1 + b \cdot \delta}$$

- условной силы сопротивления качению ведущего колеса с учетом угла увода и буксования

$$F_k^{usl} = G_k \cdot f \cdot (1 + A \cdot \sin \gamma) + R_t \cdot \delta^p$$

- момента сопротивления повороту колеса относительно оси OZ

$$M_{spov} = \mu \cdot \varphi \cdot G_k \cdot \rho \cdot \sqrt{S_{kont}} \quad ,$$

где  $k_{\delta}$ ,  $v$ ,  $k_{\gamma}$ ,  $\alpha$ ,  $b$ ,  $A$ ,  $p$ ,  $\mu$ ,  $\rho$  – эмпирически определяемые константы на основе результатов натуральных испытаний шин.

Модель позволяет определить и все другие моментные составляющие, необходимые для силового и мощностного анализа.

Компьютерная модель

Электронная модель колеса в графической среде имитационного моделирования Simulink показана на рисунке 2.

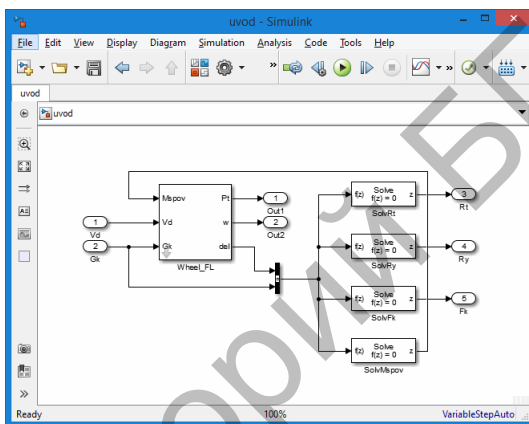


Рисунок 2 - Электронная модель колеса в графической среде имитационного моделирования Simulink

### Заключение

Разработана компьютерная модель колеса как одна из локальных подсистем модели современной модульной мобильной машины, для расчетного анализа ее тяговых и маневровых свойств на повороте.

### Список использованной литературы

1. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. М., «Машиностроение», 1966, 196 с.
2. Фаробин Я.Е. Теория поворота транспортных машин. М., «Машиностроение», 1970. - 176 с.