

УДК: 629.359

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОЙ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ ТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПОВ С ОПОРНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Г.И. Гедроить, С.В. Занемонский

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Республика Беларусь, г. Минск, zanetanoff@mail.ru

Введение

Наиболее глубокие исследования взаимодействия различного типа движителей с опорным основанием описаны в трудах В.А. Скотникова, Я.С. Агейкина, В.В. Гуськова, В.В. Кацыгина, В.П. Бойкова, В.А. Русанова, А.Н. Орды, Г.С. Горина, В.И. Кнороза, Н.Ф. Бочарова, В.Ф. Бобкова, И.И. Водяника, А.М. Кононова, М.Г. Беккера, Дж. Вонга, М.Н. Летошнева и др. [1, 2, 3, 4]. Большинство работ посвящено исследованию взаимодействия колесного движителя с деформируемой опорной поверхностью. Их основной целью является определение показателей деформации шины и почвы, сопротивления качению, силы тяги, показателей уровня воздействия на почву и др. Недостатком данных работ является использование плоских расчетных схем, т.е. в них все процессы рассматриваются применительно к колесу единичной ширины, учет ширины колеса B осуществляется путем умножения показателей взаимодействия колес единичной ширины на значение B , что не позволяет учитывать изменчивость характеристик шин в поперечной плоскости. Цель данной работы – разработать расчетную схему, наиболее полно отражающую специфику взаимодействия ходовой системы тракторных прицепов с опорным основанием.

Основная часть

Я.С. Агейкин в работе [2] предлагает пространственную расчетную схему, в которой рассматривает не линию контакта, а поверхность контакта, состоящую из плоской и криволинейной частей. Проекция пятна контакта шины на горизонтальную плоскость представлена в виде эллипсов. Давления в контакте и ширину контакта автор определяет по формулам аппроксимации, полученными применительно к автомобильным шинам. Ширина плоской части поверхности контакта принята равной ширине протектора $b_{пр}$. Это приемлемо для автомобильных шин регулируемого давления, но нехарактерно для сельскохозяйственных шин, работающих в условиях переменных нагрузочных режимов.

В общем случае процесс взаимодействия колеса с почвой значительно сложнее рассмотренного. Реальная почва, как правило, не является линейно деформируемой средой, а контакт шины и почвы происходит не по плоскости, а по поверхности. Проекция этой поверхности на горизонтальную плоскость имеет форму, близкую, в основном, к эллиптической [2, 5, 6]. Учетом эти особенности в расчетной схеме и математической модели взаимодействия колеса с почвой.

По аналогии с работами [2, 7], представим поверхность контакта в виде сочетания плоской и криволинейной частей. Расчетная схема показана на рисунке 1. Рассмотрим колесо, на которое действует нормальная нагрузка G , толкающая сила P и нормальные к поверхности контакта реакции почвы q . Касательные силы, возникающие в контакте из-за необходимости преодоления момента трения в подшипниках, аэродинамического сопротивления и из-за различия в жесткости материалов шины и почвы не учитываем. Допускаем так же восстановление упругих деформаций почвы происходит после прохода колеса и не влияет на процесс его взаимодействия с почвой.

Расположим координатные оси следующим образом: горизонтальную X – в плоскости качения, горизонтальную Y – перпендикулярно X , вертикальную Z – перпендикулярно опорной поверхности. Начало координат расположим в центре проекции плоской части поверхности контакта.

В зоне контакта шина деформируется внутрь от исходного положения (в свободном состоянии) [2, 8, 9]. Согласно исследованиям Н.Ф. Кошарного [10] конфигурацию профиля шины на почве в продольном и поперечном сечении можно представить с помощью прямых линий и параболических кривых. Поэтому принимаем криволинейную поверхность контакта шины с почвой в виде части эллиптического параболоида с вершиной в точке $(0, 0, h+\lambda)$.

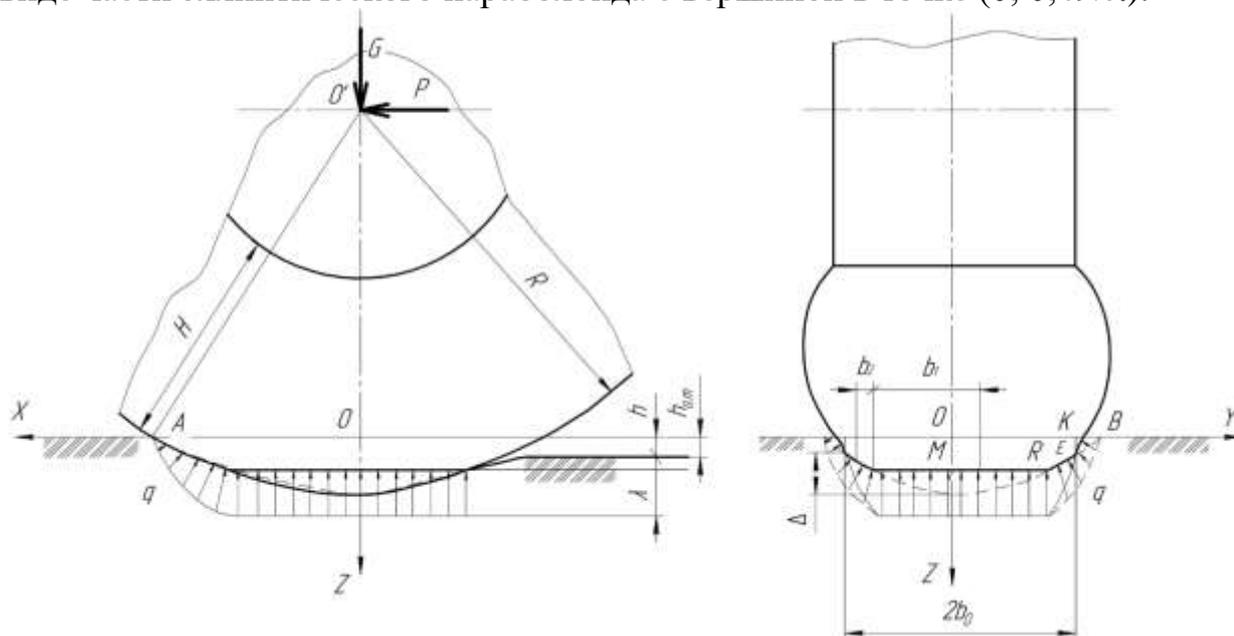


Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия колеса с почвой

Поверхность контакта шины с почвой можно представить в виде усеченного эллиптического параболоида (рисунок 2). Выделяют плоскую зону контакта в виде эллипса S_1 и криволинейную в виде части эллиптического параболоида S_2 .

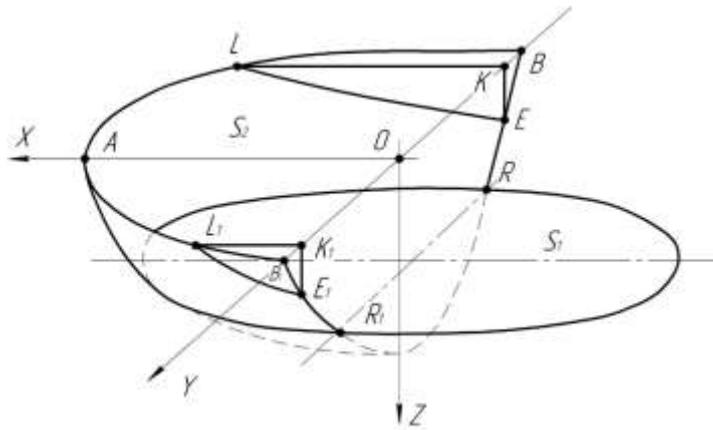


Рисунок 2 – Форма поверхности контакта шины с почвой для расчета показателей их взаимодействия

Уравнение эллиптического параболоида запишем в виде:

$$Z = h + \lambda - \frac{Y^2}{S^2} - \frac{X^2}{e^2}, \quad (1)$$

где h – деформация почвы;

λ – деформация шины;

e, S – параметры поверхности контакта.

При $Z=0$ и $Y=0$ из уравнения (1) имеем:

$$h + \lambda = \frac{X^2}{e^2}, \quad (2)$$

кроме того, учитывая, что шина в верхней части (над плоскостью OXY) недеформирована, из треугольника MAO (рисунок 1) можно записать:

$$X^2 = (2R - h - \lambda)(h + \lambda). \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (2.2) и (2.3), находим значение параметра

$$e = \sqrt{2R - h - \lambda}. \quad (4)$$

Для определения параметра S рассмотрим сечение поверхности контакта шины с почвой в плоскости OYZ . Получим параболу с вершиной $(0, 0, h+\lambda)$ вида:

$$Z = h + \lambda - \frac{Y^2}{S^2}. \quad (5)$$

Принимая ширину поверхности контакта на глубине $Z=h+\lambda-\Delta$ как постоянную величину $2b_0$, получим

$$h + \lambda - \Delta = h + \lambda - \frac{b_0^2}{S^2}. \quad (6)$$

Следовательно, параметр S найдем по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{b_0^2}{\Delta}}, \quad (7)$$

где $2b_0$ и Δ – характерные размеры шины.

Для большинства шин $2b_0$ – это ширина беговой дорожки, Δ – стрела дуги протектора.

С учетом данных выражений (4) и (7) уравнение эллиптического параболоида, определяющего форму поверхности контакта, получим в виде:

$$Z = h + \lambda - \frac{Y^2}{b_0^2 / \Delta} - \frac{X^2}{2R - h - \lambda}. \quad (8)$$

Заключение

В большинстве проанализированных работ использованы плоские расчетные схемы, т.е. все процессы рассматриваются применительно к колесу единичной ширины. В предложенной расчетной схеме поверхность контакта представлена в виде сочетания плоской и криволинейной частей. Принимаем плоскую часть поверхности контакта шины с почвой в виде эллипса, а криволинейную поверхность контакта – в виде части эллиптического параболоида. Объемное представление модели взаимодействия колеса с почвой позволяет более полно учесть конструкционные параметры шин.

Список литературы

1. Скотников, В.А. Проходимость машин / В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 328 с.
2. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 242 с.
3. Гедроить, Г.И. Сопротивление качению транспортно-технологических машин в дорожных условиях / Г.И. Гедроить, С.В. Занемонский, А.И. Оскирко // Агропанорама. – 2020. - №6. – С. 6-9.
4. Гедроить, Г.И. Совершенствование профиля пневматических шин для сельскохозяйственной техники / Г.И. Гедроить // Агропанорама. – 2017. - №5. – С. 2-5.
5. Кулен, А. Современная земледельческая механика / А. Кулен, Х. Куиперс // Пер. с англ. А.Э. Габриэляна; Под ред. и с предил. Ю.А. Смирнова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349 с.
6. Хлебников, А.М. Анализ работы колеса с арочной шиной. / А.М. Хлебников, В.И. Кнороз, И.П. Петров // Шины проходимость автомобиля. Ч. 2.: Сб. научн. тр. – М.: НАМИ. Вып. 143. – с. 55-72.
7. Андреев, А.Ф. Взаимодействие колеса с опорной поверхностью. Автомобили и тракторостроение. Динамика и долговечность тягово-транспортных машин. / А.Ф. Андреев. – Мн.: Вышэйшая школа, 1974. – Вып. 5. – с. 51-61.
8. Скотников В.А. Совершенствование ходовых систем и шасси кормоуборочных машин и транспортных средств / Руководитель В.А. Скотников //Отчет о НИР / БИМСХ. Инв. №0288061187. – Мн., 1987. – 211 с.
9. Бочаров, Н.Ф. Транспортные средства на высокоэластичных движителях / Н.Ф. Бочаров, В.И. Гусев, В.М. Семенов. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.
10. Кошарный, Н.Ф. Технично-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости / Н.Ф. Кошарный. – Киев: Вища школа, 1981.