

ПОДБОР И ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Могильников К.А.

Ростсельмаш, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведен обзор моделей шин, используемых при расчете динамики колесных машин при движении по дорогам с твердым покрытием или по полю. Определен перечень параметров, не существенных для моделирования движения машин на невысоких скоростях, преимущественно по прямолинейной траектории. Представлен способ определения необходимых расчетных параметров модели шин, приведен пример их расчета.

Ключевые слова. Динамическое моделирование, шина, жесткость, демпфирование.

SELECTION AND VALIDATION OF CALCULATED PARAMETERS OF LARGE-SIZED TIRES FOR EVALUATING THE MOVEMENT DYNAMICS OF AGRICULTURAL MACHINES USING NUMERICAL SIMULATION

Mogilnikov K.A.

Rostselmash, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The article provides an overview of tire model parameters used in the calculation of the wheeled vehicles dynamics when driving on roads or agricultural background. A list of parameters that are not essential for simulation the movement of machines at low speeds, mainly along a straight line path, is determined. A method for determining the necessary parameters is presented, an example of their calculation is given.

Keywords. Dynamic simulation, tire, stiffness, damping.

Для определения нагрузок на несущую систему сельскохозяйственных машин широко применяются методы твердотельного динамического моделирования, учитывающие кинематические и упругодемпфирующие связи между подвижными частями конструкции. В связи с этим возникает проблема корректного описания взаимодействия колес с дорогой. В пакетах динамического моделирования многомассовых систем применяются различные модели шин, каждая со своим набором входных параметров, по-разному влияющих на точность моделирования колесных машин в зависимости от их скорости движения, скорости маневрирования, размеров и повторяемости неровностей дороги и т.п.

Вопрос получения нагрузок методом твердотельного моделирования для прочностного расчета методом конечных элементов поднимается в работе [1] на примере трактора на гусеничном ходу. Описаны этапы построения многомассовой модели, выбор режимов численного эксперимента, передача нагрузок в конечно-элементную модель. В работе [2] приводится пример динамического моделирования колесного трактора при проезде по препятствиям, регламентированным ISO 5008. В работе используется «Hohenheim tire model». Получена хорошая сходимость временных реализаций продольных и вертикальных усилий по результатам измерений и моделирования. Исследования влияния упругих свойств тракторных шин на вертикальные усилия на оси колес, а также на колебания тракторов выполнены в работах [3], [4]. По результатам расчетов предложены шины с оптимальными характеристиками для трактора МТЗ-82. В работе [5] представлен обзор применяемых в современных расчетных пакетах моделей шин, а также обзор способов определения параметров этих моделей с помощью стендовых и полевых испытаний. Была разработана собственная модель, характеризующаяся сравнительно большим набором исходных параметров. В работе [6] выполнен обзор зарубежных и отечественных стендов для динамических испытаний шин и предложен модернизированный вариант, в котором учтены недостатки аналогов.

В отличие от легковых или грузовых автомобильных шин, по крупногабаритным сельскохозяйственным шинам попросту отсутствуют необходимые расчетные характеристики, являющиеся исходными в приведенных выше моделях.

Составной частью технологий проектирования являются программные продукты, предназначенные для моделирования динамического поведения многодетальных конструкций. Цель использования такого рода пакетов – прогнозирование кинематических, динамических и прочностных характеристик проектируемого изделия, оптимизация отдельных узлов и агрегатов. Одним из пакетов динамического моделирования сложных машин и механизмов является MSC.ADAMS. С помощью данного программного продукта можно создать полностью параметризованную модель изделия. Результатами твердотельного моделирования являются усилия в контакте колес с дорогой, ускорения всех компонентов модели, а также реакции в шарнирах.

С целью сокращения времени проектирования новых образцов сельскохозяйственной техники используются динамические модели, состоящие из абсолютно твердых тел, соединенных между собой шарнирами и безинерционными упругими связями. Цель моделирования – получение нагрузок на ведущие и управляемые колёса при движении на эксплуатационных скоростях с адаптерами и без адаптеров, с различными вариантами загрузки.

При моделировании сельскохозяйственных машин возможно использование следующих допущений:

- практический интерес представляет движение по прямой;
- вращение колёс происходит без бокового и продольного скольжения;
- решающий вклад в долговечность несущей конструкции вносят вертикальные нагрузки.

Поскольку целевой объект (например, комбайн) не обладает сложной курсовой динамикой (передвигается преимущественно по прямолинейной траектории, не совершает интенсивных маневров на высокой скорости и т.п.), то оценив жёсткость шины и интенсивность диссипации энергии в шине сравнивая результаты расчётов и результаты испытаний по частотам вертикальных колебаний машины можно верифицировать расчётную модель применяемой шины, что позволит в дальнейшем повысить точность проектных расчётов

С учетом перечисленных выше особенностей моделирования сельскохозяйственной техники, использовалась модель шин с минимальным набором входных параметров из библиотеки стандартных компонентов Adams – «Fiala tire model».

Набор входных параметров для модели шин «Fiala» (файл .tir) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Набор входных параметров для модели шин «Fiala»

№ параметра	Обозначение в файле свойств шины	Описание параметра
1	VERTICAL_STIFFNESS	Вертикальная жесткость
2	VERTICAL_DAMPING	Коэффициент вертикального демпфирования
3	ROLLING_RESISTANCE	Коэффициент сопротивления качению
4	CSLIP	Частная производная продольной силы по коэффициенту скольжения при нулевом продольном скольжении
5	CALPHA	Частная производная поперечной силы по углу скольжения при нулевом угле скольжения
6	UMIN	Динамический коэффициент трения
7	UMAX	Статический коэффициент трения
8	RELAX_LENGTH_X	Продольная длина релаксации
9	RELAX_LENGTH_Y	Боковая длина релаксации

В данной работе определяются только параметры 1, 2. Параметры 3, 7 не определяются, поскольку влияют только на горизонтальные усилия, 4 – , 5 – , 6 – рассматривается движение без скольжения, 8 – рассматривается движение на малых скоростях, 9 – рассматривается прямолинейное движение.

Коэффициенты вертикальной жесткости шин могут быть получены по результатам стендовых испытаний у производителя, либо в первом приближении определены по формулам [7] – [8] или приняты по аналогии с известными значениями шин данного типоразмера.

В любом случае, принятые значения необходимо верифицировать. В данной работе вертикальная жесткость шин верифицировалась по сопоставлению экстремальных значений и частот колебаний ускорений, измеренных датчиками, установленными на балке моста вблизи колес, и полученных в результате твердотельного моделирования.

Значения коэффициентов демпфирования определялись по методике [9].

Предполагается, что демпфирование является классическим, т.е. коэффициент демпфирования d пропорционален коэффициенту жесткости k :

$$d = \alpha k, \quad (1)$$

где α – коэффициент пропорциональности.

$$\alpha = \frac{\delta}{2\pi^2 f}, \quad (2)$$

δ – логарифмический декремент затухания;

f – частота колебаний по заданному тону.

Логарифмический декремент затуханий определяется по формуле:

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{A_i}{A_{i+n}} \right), \quad (3)$$

где A_i, A_{i+n} – амплитуды колебаний в начале и в конце интервала, состоящего из n колебаний.

Для определения данных расчетных параметров был выполнен проезд одиночного препятствия с фиксацией ускорений на несущей части вблизи колес (рисунок 1). Результаты моделирования проезда одиночного препятствия зерноуборочным комбайном после подбора расчетных параметров шин представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 - Общий вид одиночного препятствия

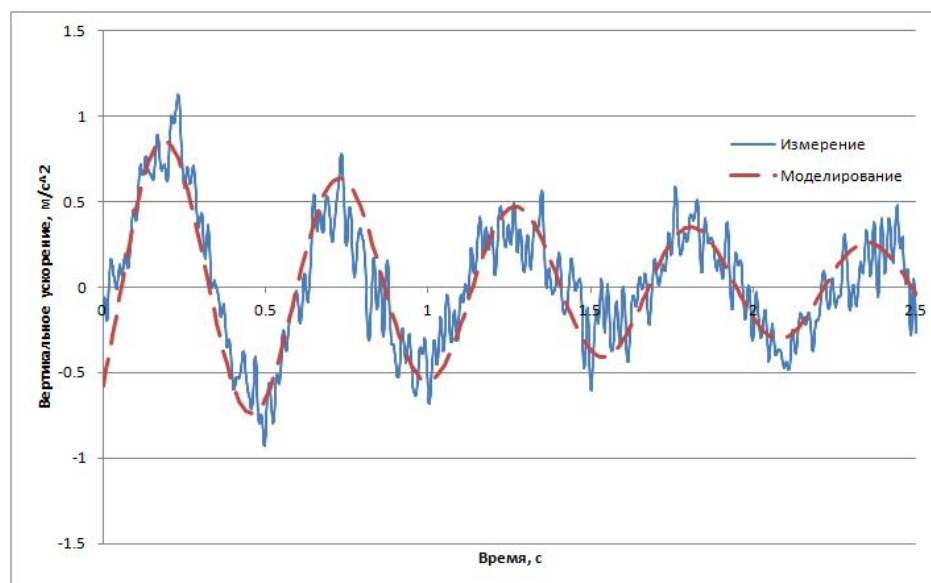


Рисунок 2 - Сравнение результатов моделирования и натуральных испытаний

После верификации характеристик шин модель пригодна для расчета нагрузок на несущую систему без проведения дорогостоящих, трудозатратных и привязанных к сезону натуральных испытаний.

Выводы:

1. Полный набор расчётных параметров моделей шин в MSC.Adams обеспечивает моделирование как нагружения колёс, так и устойчивости и управляемости машины в широком диапазоне скоростей движения.

2. Минимальный набор расчётных параметров, определяющих достоверность моделирования вертикальных нагрузок при прямолинейном движении на малых скоростях, включает в себя вертикальную жёсткость и вертикальное демпфирование.

3. В условиях отсутствия характеристик шин, декларированных поставщиком, имеется возможность экспериментальной оценки расчётных параметров в составе изделия.

4. Подобранный сокращённый набор расчётных параметров шин, а именно жесткость и коэффициент демпфирования обеспечивает хорошую сходимость результатов моделирования с результатами натурных испытаний.

Список использованных источников

1. В.А. Горелов, А.И. Комиссаров, Д.С. Вдовин, С.В. Гаев, М.В. Вязников, И.А. Тараторкин. Методика анализа на прочность ходовых систем гусеничных тракторов с использованием многомассовых динамических и конечно-элементных моделей. Тракторы и сельхозмашины. 2018, № 4, С. 63-70.

A. Bürger, S. Böttinger. Driving comfort analysis of an agricultural tractor with the Hohenheim Tyre Model on complex tracks. Contribution to conference, Hannover, 2017.

2. Д.И. Золотаревская. Анализ влияния основных факторов на характеристики упругих свойств эластичных колес тракторов. Тракторы и сельхозмашины, 2018, № 4, С. 71-79.

3. Д.И. Золотаревская. Результаты исследования жесткости шин тракторных колес и ее влияния на колебания тракторов. Тракторы и сельхозмашины, 2019, № 3, С. 35-45.

4. Witzel, P.: Ein validiertes Reifenmodell zur Simulation des fahrdynamischen und fahrkomfortrelevanten Verhaltens von Ackerschlepperreifen bei Hindernisüberfahrt. Dissertation University of Stuttgart, 2015, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI №. 548. Aachen: Shaker Verlag 2015.

5. Е.А. Власьевнина, О.И. Осипов. Современные стенды для динамических испытаний тракторных шин. Тракторы и сельхозмашины, 2019, № 6, С. 28-36.

6. Г.И. Гедроить. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники. Агропанорама: научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. – 2009. – N 4. – С. 23-27.

7. В.В. Воронин, В.Н. Кондрашов, Д.М. Тимаев. Механические характеристики автомобильных шин. Известия МГТУ МАМИ, 2010, № 2 (10), С. 20-23.

8. С.Н. Дмитриев, Р.К. Хамидуллин. Коррекция матрицы демпфирования с использованием экспериментальных значений коэффициентов модального демпфирования. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/619.html>