Закачено с сайта www.niism-kb.narod.ru

Прогнозирование характеристик криволинейного движения быстроходных колесных машин с бортовым способом поворота

Чернышев Н.В., МГТУ им. Н.Э. Баумана

Использование бортового поворота на колесной машине позволяет:

- по сравнению с колесными машинами:
  - •обеспечить КМ большую маневренность;
  - •выиграть в компоновке автомобиля, за счет уменьшения колесных арок, так как нет поворачиваемых колес;
  - •выиграть в ходе подвески, так он не ограничен рулевыми тягами;
- по сравнению с гусеничными машинами:
  - •увеличить ресурс движителя;
  - •использовать дороги общего назначения.

Применение на колесных машинах бортового поворота позволяет унифицировать их производство с гусеничными машинами. Примером такой машины является БКМ, AMX-10RC унифицированная с гусеничной БМП AMX-10, которая стоит на вооружении французской армии.

Примером отечественной колесной машины с бортовым способом поворота является БТР-90.

Одним из наиболее важных вопросов, которые стоят при проектирование таких машин является обеспечение их подвижности.

В работе исследовалась возможность изготовления быстроходной КМ с бортовым поворотом на базе БМП-3. Задачей было оценить управляемость такой машины и разработать систему управления, которая позволит выполнить поставленные требования.

Оценка производилась на основании требований ОСТ 37.001.471-88 «Управляемость и устойчивость автотранспортных средств». Исходя из требований ОСТ, была разработана математическая модель криволинейного движения БКМ с бортовым способом поворота. Матмодель описывает дви-

жение автомобиля как плоско-параллельное движение твердого тела с учетом перераспределения нормальных реакций в колесах, вызванного продольными и поперечными ускорениями. Такое допущение принимается для упрощения модели, так как испытания происходят на ровном асфальтобетонном покрытии. Все колеса ведущие. На автомобиле реализована бортовая раздача момента.

Для описания движения вводится подвижная система координат, связанная с корпусом автомобиля (рис. 1): начало СК в центре масс, ось x направлена вдоль продольной оси автомобиля. Движение автомобиля представляется как плоско-параллельное движение твердого тела, которое может быть описано как движение центра масс и вращение тела вокруг него.

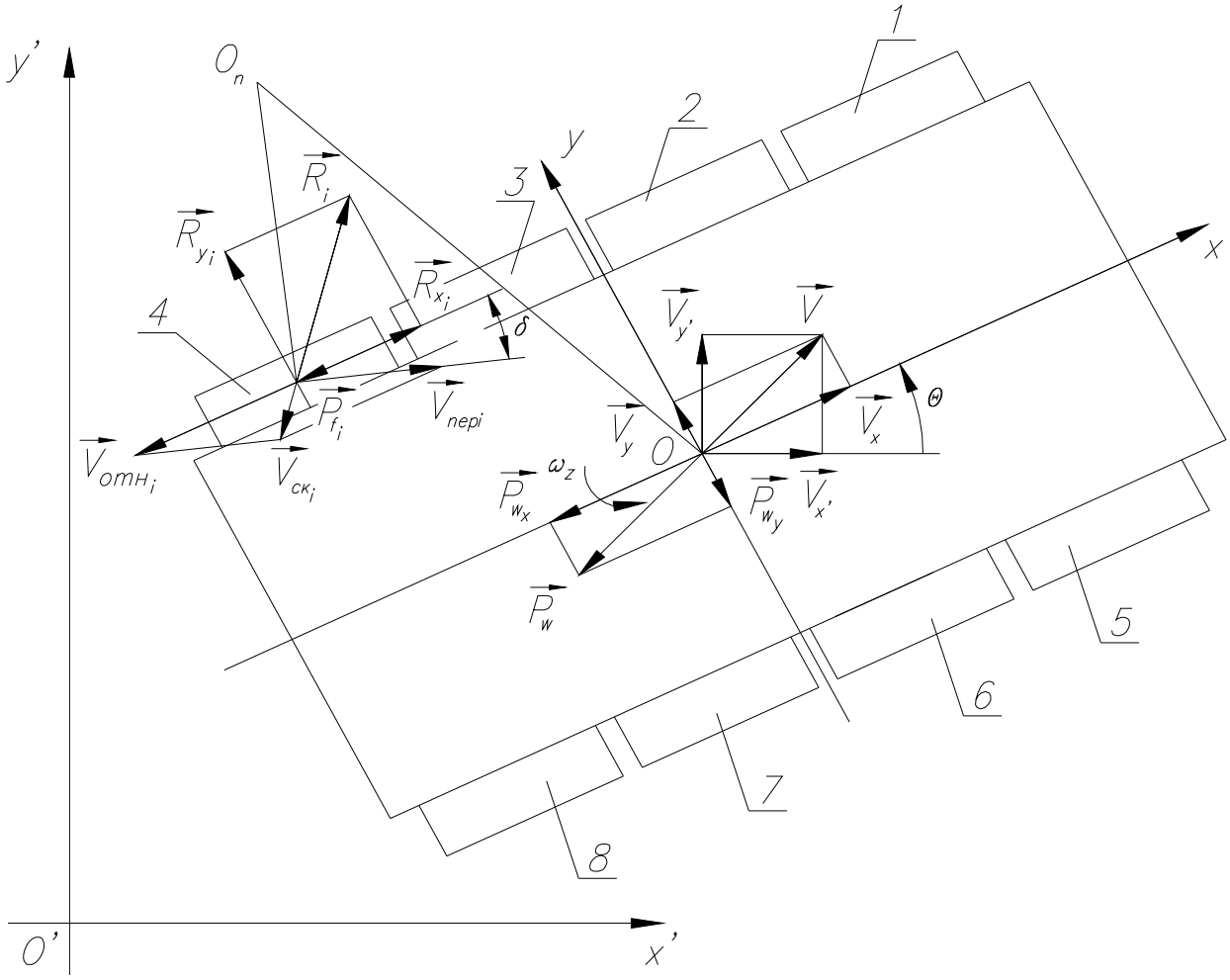

Рис. 1

Движение автомобиля описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} a_x = \dfrac{dV_x}{dt} - \omega_z \cdot V_y = \dfrac{1}{m} \cdot \left(\sum_{i=1}^{8} P_{fxi} + P_{wx} + \sum_{i=1}^{8} R_{xi} \right) \\ a_y = \dfrac{dV_y}{dt} + \omega_z \cdot V_x = \dfrac{1}{m} \cdot \left(P_{wy} + \sum_{i=1}^{8} R_{yi} \right) \\ J_z \cdot \dfrac{d\omega_z}{dt} = \sum_{i=1}^{8} M\left(\vec{R}_i\right) + \sum_{i=1}^{8} M\left(\vec{P}_{fi}\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{x'} = \dfrac{dx'}{dt} = V_x \cdot \cos\theta - V_y \cdot \sin\theta \\ V_{y'} = \dfrac{dy'}{dt} = V_x \cdot \sin\theta + V_y \cdot \cos\theta \\ \omega_z = \dfrac{d\theta}{dt} \end{cases}$$

Связь подвижной с неподвижной системой координат:

Силы, действующих на автомобиль:

- сила сопротивления воздуха, которая пропорциональна квадрату скорости центра масс автомобиля и противоположна по направлению;
- сила сопротивления качению колеса, направлена в противоположную сторону от проекции переносной скорости колеса на ось x и равна $P_{fi} = f \cdot Q_i$;
- Q_i вес, который приходится на *i*-тое колесо.

Предположив, что кузов жесткий и подвеска каждого колеса эквивалентна идеальной линейной пружине не сопротивляющейся поперечно и, пренебрегая динамикой колебаний корпуса, записав соотношения совместности деформаций упругих элементов, можно получить систему алгебраических уравнений для расчета Q_i:

$$\begin{cases} Q_1 + A + y_1 \cdot B + x_1 \cdot C = 0 \\ Q_2 + A + y_2 \cdot B + x_2 \cdot C = 0 \\ Q_3 + A + y_3 \cdot B + x_3 \cdot C = 0 \\ Q_4 + A + y_4 \cdot B + x_4 \cdot C = 0 \\ Q_5 + A + y_5 \cdot B + x_5 \cdot C = 0 \\ Q_6 + A + y_6 \cdot B + x_6 \cdot C = 0 \\ Q_7 + A + y_7 \cdot B + x_7 \cdot C = 0 \\ Q_8 + A + y_8 \cdot B + x_8 \cdot C = 0 \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = mg \\ Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3 + Q_4 \cdot x_4 + Q_5 \cdot x_5 + Q_6 \cdot x_6 + Q_7 \cdot x_7 + Q_8 \cdot x_8 = -m \cdot a_x \cdot H_z \\ Q_1 \cdot y_1 + Q_2 \cdot y_2 + Q_3 \cdot y_3 + Q_4 \cdot y_4 + Q_5 \cdot y_5 + Q_6 \cdot y_6 + Q_7 \cdot y_7 + Q_8 \cdot y_8 = -m \cdot a_y \cdot H_z \end{cases}$$

Дополнительные переменные А, B и С являются вспомогательными и не представляют интереса. После решения системы они отбрасываются.

Реакция грунта, направленная в обратную сторону скорости скольжения колеса и равна $R = \mu_{si} \cdot Q_i$, где μ_S – коэффициент трения частичного скольжения, направление и значение реакций определяются согласно теории, разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана к.т.н. Рождественским.

Под коэффициентом трения частичного скольжения понимается коэффициент, отражающий зависимость величины реакции грунта действующей на колесо, от нормальной реакции. Зависимость μ_S от S описана функцией:

$$\mu_{si} = \mu_{s\alpha \max i} \cdot \left(1 - e^{-\frac{S}{S_0}}\right) \cdot \left(1 + e^{-\frac{S}{S_1}}\right)$$

S - коэффициент скольжения – это отношение скорости скольжения к относительной скорости колеса, $S = \frac{V_{ск}}{V_{отн}} = \frac{V_{ск}}{\omega_к \cdot r_к}$, которое представляет собой

обобщенную характеристику режима проскальзывания колеса. Скорость скольжения – получается как сумма векторов относительной и переносной скоростей колеса.

Константы S_0 и S_1 определяют форму зависимости. Так как характеристики взаимодействия шины с грунтом отличаются в продольном и поперечном направлениях для нахождения $\mu_{S\max}$ используется эллипс трения (рис. 2).

$$\mu_{s\alpha\max} = \frac{\mu_{sx\max} \cdot \mu_{sy\max}}{\sqrt{\mu_{sx\max}^2 \cdot \sin^2\alpha + \mu_{sy\max}^2 \cdot \cos^2\alpha}}$$

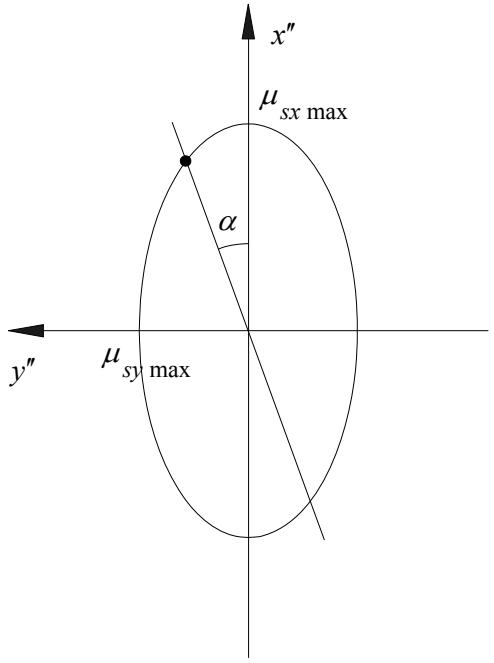

Рис. 2

Угловая скорость вращения колес определяется по сумме момента от двигателя и момента от реакции грунта, действующих на колесо.

В пакете Simulink было проведено математическое моделирование испытаний автомобиля на управляемость по ОСТ 37.001.141 – 88. Рассматривались следующие испытания:

- «переставка $S_П$=16 м»;
- «переставка $S_П$=24 м»;

- «переставка $S_П$=20 м»;
- «поворот R=25 м»;
- «поворот R=35 м».

По требованию ОСТ испытания проводятся на горизонтальном сухом, ровном и чистом участке дороге с асфальтобетонным покрытием, ширина входного и выходного коридоров 3,5м. Результатом испытаний является предельная скорость, на которой маневр выполняется без отрыва колес от дороги и выхода за пределы размеченного участка.

Были получены следующие резузультаты:

- Испытание «Переставка S=16 м».Получена предельная скорость $V_{пр}$= 32 км/ч. Значение нормативного показателя $V_{норм}$=51 км/ч.
- Испытание «Переставка S=24 м». Получена предельная скорость $V_{пр}$= 60 км/ч.

  Значение нормативного показателя $V_{норм}$=70 км/ч.
- Испытание «Переставка S=20 м». Получена предельная скорость $V_{пр}$= 47 км/ч. Значение нормативного показателя $V_{норм}$=60 км/ч.
- Испытание «Поворот R=25 м».Получена предельная скорость $V_{пр}$= 40 км/ч. Значение нормативного показателя $V_{норм}$=43 км/ч.
- Испытание «Поворот R=35 м». Получена предельная скорость $V_{пр}$= 46 км/ч. Значение нормативного показателя $V_{норм}$=50 км/ч.

Так результаты численного моделирования не удовлетворяли требованиям ОСТ, в модель была добавлена система динамической стабилизации.

СДС начинает работать в тот момент, когда угол поворота штурвала превышает некоторое заданное значение. В этот момент со спидометра снимается значение скорости КМ. В дальнейшем, продольная скорость КМ определяется путем интегрирования ускорения, получаемого с продольного акселерометра, поперечная скорость КМ определяется путем интегрирования ускорения, получаемого с поперечного акселерометра. Интегрирование прекращается, если угол поворота штурвала меньше некоторого заданного значения в течении определенного промежутка времени. В каждый момент вре-

мени контроллер СДС вычисляет синус текущего угла отклонения β вектора скорости КМ от продольной оси машины согласно следующему выражению:

Задача СДС заключается в удержании данной величины в некотором заданном диапазоне. Эта задача решается путем изменения количества топлива, подаваемого в двигатель h, и угла поворота штурвала . Изменение подачи топлива производится следующим образом: если значение $\sin\beta$ вышло за пределы заданного диапазона, тогда h уменьшается на величину, пропорциональную отклонению $\sin\beta$ от границы диапазона; если значение $\sin\beta$ находится в пределах заданного диапазона, тогда h увеличивается на величину, пропорциональную отклонению $\sin\beta$ от границы диапазона. Изменение угла поворота штурвала производится следующим образом: если значение $\sin\beta$ вышло за пределы заданного диапазона, то значение угла поворота штурвала, заданное водителем, увеличивается на величину, пропорциональную отклонению $\sin\beta$ от границы диапазона; если значение $\sin\beta$ находится в пределах заданного диапазона, то сохраняется угол поворота штурвала, заданный водителем.

При моделировании КМ с такой системой СДС были получены результаты, удовлетворяющие требованиям ОСТ.

На данный момент мной ведутся работу по проведению натурных испытаний на макетном образце и возможности улучшения алгоритма работы с целью исключения ошибок вызванных интегрированием.