

О ЗАДАЧЕ СТАЦИОНАРНОГО ПОВОРОТА АВТОПОЕЗДОВ

ДМ Нарадовый, Б.М. Позин, ИЛ. Трояновская

Рассмотрен подход к составлению модели стационарного поворота автопоезда, основанный на взаимодействии опорных площадок контакта с грунтом как фрикционной пары трения с постоянным или переменным коэффициентом.

Тракторные и автомобильные поезда (в дальнейшем автопоезда) получили широкое применение на транспортных работах в сельскохозяйственном производстве и других отраслях народного хозяйства. Особое значение приобретают автопоезда в связи с появлением длинномерных и разного рода тяжелых негабаритных грузов, с всё возрастающим объёмом междугородних и международных автомобильных перевозок.

Автопоезд, как правило, состоит из последовательно соединенных двух и более транспортных единиц, одна из которых играет роль тягача, а другие выступают в качестве прицепов (рис. 1). Появившиеся в последнее время многоопорные тягачи и прицепы, а также различные схемы их соединения, выдвигают на передний план проблему описания движения таких автопоездов и, прежде всего, криволинейного.

Шарнирное соединение двух и более транспортных средств позволяет использовать комбинированные движители: колесные, гусеничные и др., что естественно требует единого подхода к описанию их взаимодействия с грунтом.

В имеющихся исследованиях автопоездов [2, 3, 10] рассмотрены различные аспекты проблемы, однако изучается либо узкий класс машин [2], либо математические модели движения, основанные на предпосылках, оправданных для узкого класса движений [3, 10]. Отсутствие хорошо разработанной теоретической базы тормозит проектирование новых промышленных образцов столь необходимой техники [12].

Будем в дальнейшем различать сочленённую машину и автопоезд.

Отличительным признаком этих машинных агрегатов является характер управления криволинейным движением, определяемый свойствами связей между его частями. Дело в том, что у сочленённой машины углы складывания, характеризующие взаимное расположение тягача и прицепов, являясь управляющими параметрами, имеют каждый раз фиксированные значения или заданные законы изменения. У автопоезда эти параметры образуются под действием внешних сил, вызываемых движением тягача и управляемых колёс прицепа, по крайней мере, в пределах допустимых конструктивными ограничениями. Углы складывания в этом случае являются величинами неизвестными и для своего определения требуют дополнительных уравнений связей.

Рассмотрим вначале стационарный поворот, который является основой при составлении математической модели любого криволинейного движения, определяет главные положения и допущения, легко проверяемые в эксперименте.

Для составления модели стационарного поворота автопоезда воспользуемся подходом, принятым при составлении обобщённой модели поворота транспортной машины [5, 7, 9]. В основе этого подхода лежит положение о взаимодействии площадки контакта опорного элемента (колеса или гусеницы) с грунтом как фрикционной пары (гипотеза Ф.А. Опейко [7]) с постоянным или переменным коэффициентом трения, зависящим от скорости скольжения в точке и описываемым с помощью формул В.В. Кацыгина [9]. Этот подход нашел экспериментальное подтверждение как для гусеничных [1], так и для колесных машин [3, 9].

Согласно принятому подходу силы, действующие на движущуюся машину со стороны грунта, однозначно определяются положением центров вращения опорных площадок относительно самих площадок [7]. В связи с этим, задача движения при стационарном повороте свободной тяговой (транспортной) машины сводится к нахождению $2n$ координат центров вращения n опорных гою-

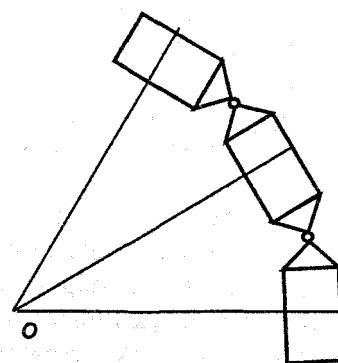


Рис. 1. Схема автопоезда

Расчет и конструирование

щадок. Дополнительно определяются координаты центра вращения (поворота) самой машины. В итоге, для описания стационарного криволинейного движения самоходной машины должна быть составлена и решена система $2n+2$ уравнений относительно $2n+2$ неизвестных. Метод составления такой системы подробно изложен в работах [4, 5, 6, 9].

При решении задачи движения автопоезда, обычно прибегают к его расчленению на отдельные транспортные единицы (рис. 2), движение которых описывается самостоятельно с учётом дополнительно действующих на каждую часть автопоезда сил в местах соединений.

Рассмотрим автопоезд, состоящий из шарнирно соединённых тягача и прицепа. На тягач кроме указанных выше сил, действует неизвестная по модулю и направлению реакция в шарнире (R_x, R_y), что добавляет еще 2 неизвестные.

Описание движения прицепа принципиально не отличается от описания движения тягача. Количество неизвестных в уравнениях движения прицепа, так же как и тягача, равно $2m+4$, где m - число площадок контакта прицепа с грунтом. Таким образом, общее число неизвестных при движении автопоезда, с учетом угла складывания, составляет $2(n+m)+9$.

Покажем как составляется модель движения автопоезда, состоящая из уравнений движения тягача, прицепа и совместного движения (совместности).

Для тягача, как самоходной тяговой машины, согласно выбранному методу, составляется $2n+2$ уравнения движения. Система содержит 3 уравнения равновесия, n уравнений геометрических и $n-1$ уравнений кинематических связей, определяемых на основании теоремы ортогональности [4].

Для прицепа, так же как и для тягача, составляются 3 уравнения равновесия, m уравнений геометрических связей. Количество кинематических связей зависит от типа прицепа. Для пассивного прицепа со всеми свободно катящимися опорными элементами движителя число таких уравнений равно m (в форме равенства нулю тяговых усилий [6]). Для активного прицепа, как и для самоходной машины, число уравнений кинематических связей равно $m-1$. Однако в этом случае к уравнениям совместности добавляется ещё одно (в форме распределения тяговых усилий между тягачом и прицепом [6]).

Два уравнения совместности описывают равенство сил в шарнире [8].

Легко показать, что при стационарном повороте, когда отсутствует относительное движение частей автопоезда, их центры поворота совпадают. Это позволяет составить ещё два недостающих уравнения.

Такой метод составления модели движения приводит к системам уравнений большой размерности. Так, например, для описания движения автопоезда, состоящего из шарнирно соединённых между собой двухгусеничного тягача и четырёхколёсной тележки необходимо составить и решить систему из 21 уравнения.

В рамках принятого подхода, когда не требуется определение внутренних сил в шарнире, существует другой путь решения этой задачи. Рассматривая автопоезд как единое целое (рис. 3), и записав для него $2(n+m)+2$ уравнения, следует добавить лишь условие

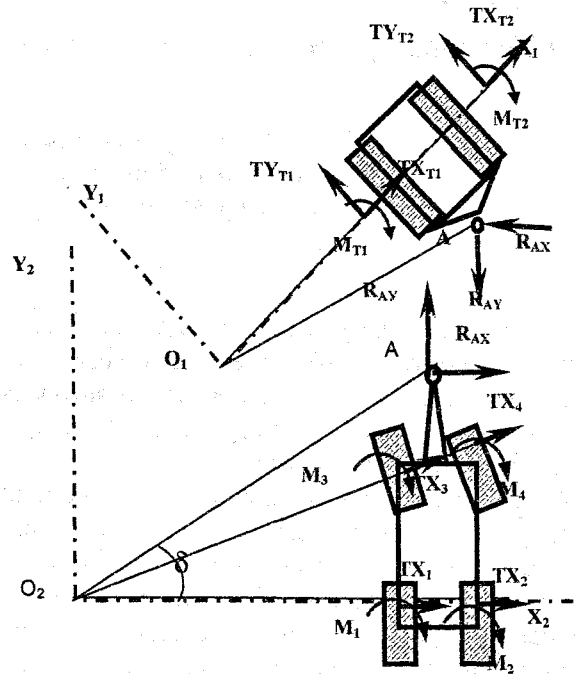


Рис. 2. Схема стационарного поворота автопоезда при его расчленении

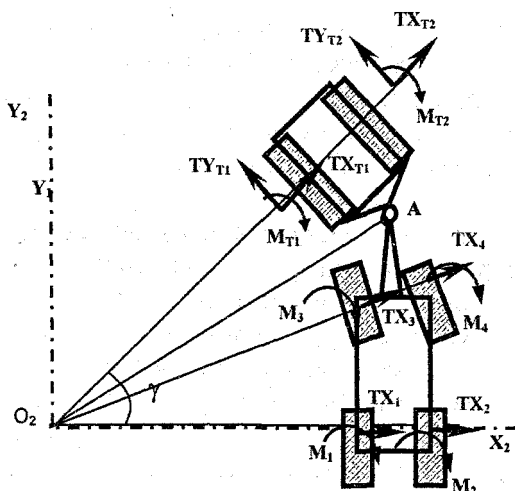


Рис. 3. Схема стационарного поворота автопоезда без его расчленения

равновесия одной из частей автопоезда в форме равенства нулю суммы моментов (относительно шарнира) от сил, действующих на эту часть автопоезда. Полученная система будет содержать $2(n+m)+3$ уравнения и позволяет найти необходимые центры вращения, а с ними все силовые и кинематические факторы, характеризующие движение автопоезда, включая угол складывания.

В рассмотренном выше примере общее число уравнений вместо 21 будет равно 15.

Эффективность второго способа возрастает по мере роста числа прицепов в автопоезде. Так движение автопоезда, состоящего из четырехколесного тягача и трех четырехколесных прицепов, описывается первым способом 55 уравнениями, при использовании второго - 37.

Литература

1. Апанаси ВТ., Бурматов В.А., Коетюченко В.И., Позин Б.М., Трояновская ИЛ. Экспериментальные исследования пассивного поворота гусеничной машины при страгивании // Материалы XIII Научно-технической конференции ЧГАУ. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2004. Ч.2. - С. 201-204.
2. Гуськов В.В, Опейко А.Ф. Теория поворота гусеничных машин. - М.: Машиностроение, 1984. - 168 с.
3. Казаченко Г.В. Исследование погруженности колес движителя с бортовой схемой поворота при движении на повороте: Заключительный отчет. - Минск: Белорусский государственный политехнический институт, 1977. - 194 с.
4. Мицын Г.П., Позин Б.М., Трояновская ИЛ. Кинематические соотношения при повороте колесной (гусеничной) транспортной машины // Техника и технология строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб. научных трудов МАДИ (ГУ). - М, 2000. - С. 83-87.
5. Мицын ГЛ., Позин Б.М., Трояновская ИЛ. Модель стационарного поворота транспортной (тяговой) машины // Техника и технология строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб. науч. тр. МАДИ (ТУ). - М, 2000. - С. 88-92.
6. Мицын Г.П. Позин Б.М., Трояновская И.П., Уравнения связей для некоторых случаев стационарного поворота транспортной (тяговой) машины // Вестник Уральского межрегионального отделения академии транспорта РФ. - Курган: Изд-во КГУ. - 2001. - Вып. 3-4. - С. 274-277.
7. Опейко Ф.А. Колесный и гусеничный ход. - Минск, 1960. - 228 с.
8. Торг СМ. Краткий курс теоретической механики. - М.: Высшая школа, 1986. - 416 с.
9. Трояновская ИЛ. Повышение эффективности малогабаритного погрузчика путем улучшения его поворотливости // Автореферат дис. ... канд. техн. наук. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2002. - 228 с.
10. Трехзвенные автопоезда / Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др. - М.: Машиностроение, 1993. - С 174.