УДК 621.226

Жданов А.В.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод».
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия»

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛНОУПРАВЛЯЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

Аннотация

В статье перечислены существующие способы изменения направления движения колесных машин. Приведена краткая история развития автомобилей с управляемыми колесами двух осей, а также описаны принцип работы, преимущества и перспективы полноуправляемой техники.

Ключевые слова: управляемые колеса, поворотливость, строительные и дорожные машины.
Keywords: steering wheels, turning, construction and road machines.

Возрастающие темпы строительства и дорожных работ требуют от колесных строительных и дорожных машин (СДМ) повышенной маневренности при работе в стесненных условиях. Процесс выполнения рабочих операций СДМ предусматривает постоянное маневрирование на строительных площадках, и несовершенство траекторий движения при поворотах и разворотах колесной техники будет способствовать снижению эффективности ее эксплуатации [2].

Маневренность или поворотливость колесной машины зависит от базы и габаритных размеров, а определяется минимальным радиусом поворота и габаритным коридором разворота. Для снижения этих параметров и улучшения маневренности конструкторы применяют различные технические и компоновочные решения.

На сегодняшний день традиционно применяются три схемы управления поворотом колесных СДМ [1; 2]:

- изменение углов между плоскостями вращения колес и продольной осью машины за счет поворота управляемых колес;

- изменение этих же углов за счет изменения положения одной части машины относительно другой (машины с шарнирно-сочлененной рамой);

- изменение величины скоростей колес разных сторон (левой и правой), так называемый бортовой поворот.

В первом случае в качестве управляемых могут выступать колеса одной либо нескольких осей, чаще всего двух. Такие машины называют полноуправляемыми. В этом случае при тех же базе, колее и предельных углах поворота колес, что и на машинах с передними управляемыми колесами радиус поворота получается минимальным.

Подобные разработки в области автомобилестроения ведутся российскими и зарубежными учеными с 30-х годов XX века. Однако лишь японские компании в 80-х годах наладили мелкосерийный выпуск полноуправляемых автомобилей по причине чрезвычайного насыщения тамошних городов транспортными средствами и усложнившимися из-за этого условиями маневрирования и парковки. Полноуправляемые модели доказали свое превосходство над своими базовыми аналогами не только в маневренности, но и в поведении при движении с высокими скоростями. Такие автомобили демонстрируют высокую курсовую устойчивость и нейтральный характер прохождения поворотов вместо недостаточной или

избыточной поворачиваемости, свойственной этим же моделям, когда они управляются с помощью только передних колес.

К сожалению, в настоящее время автопроизводители потеряли интерес к подобным разработкам вследствие резкого скачка развития электронных систем управления, которые могут исправлять недостаточную или избыточную управляемость автомобиля подобно полноуправляемым системам, но без большой дополнительной стоимости и веса. Единственный полноуправляемый автомобиль существует на сегодняшний день только один — Mazda Xedos 9.

Однако скорости движения СДМ даже в транспортном режиме малы по сравнению со скоростями легковых автомобилей, что позволяет рассматривать перспективы внедрения системы управления поворотом колес двух и более без применения сложной и дорогостоящей электроники.

Достоинства полноуправляемой техники заключаются в следующем.

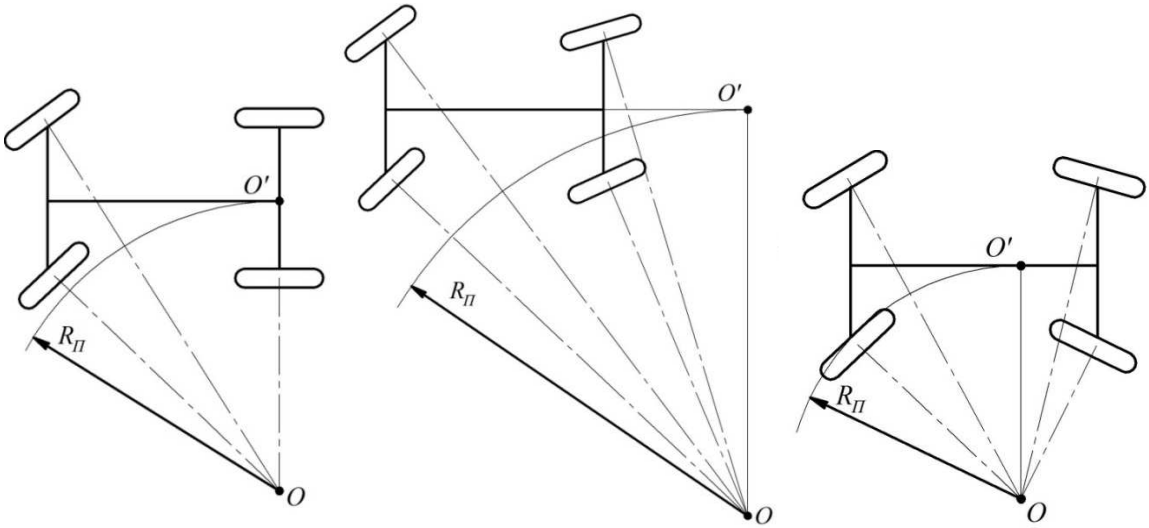
При повороте колес передней и задней оси в одну и ту же сторону (рисунок 1б) радиус поворота $R_П$ увеличивается по сравнению с радиусом поворота машины с управляемыми колесами передней оси (рисунок 1а) (при одинаковых углах поворота передних колес). Такую схему поворота можно использовать при небольших отклонениях руля, характерных для движения на скорости, задние колеса «подруливают», немного поворачиваясь в ту же сторону, что и передние, что позволяет повысить курсовую устойчивость.

При повороте колес передней и задней оси в разные стороны (рисунок 1в) радиус поворота $R_П$ уменьшается по сравнению с радиусом поворота машины с управляемыми колесами передней оси (рисунок 1а) (при одинаковых углах поворота передних колес). Данный принцип может быть применен при повороте рулевого колеса на значительный угол при развороте и маневрировании, тогда задние колеса поворачиваются в другую сторону, повышая поворотливость.

Таким образом, применение системы рулевого управления с управляемыми колесами двух и более осей позволяет в широком диапазоне менять координаты кинематического центра поворота О, полюса поворота машины О' и радиус поворота $R_П$.

И, наконец, при повороте и передних и задних колес на одинаковый угол, машина будет двигаться поступательно под углом к продольной плоскости, что так же открывает новые возможности при выполнении рабочих операций.

Теории поворота полноуправляемой техники на сегодняшний день достаточно хорошо изучены, так на рисунке 2 представлена кинематическая схема поворота колесной машины с управляемыми колесами двух осей с указанием сил и моментов, действующих на машину при криволинейном движении.



а) б) в)

Рисунок 1 – Схемы поворота колесных машин

а) с двумя управляемыми колесами; б) с четырьмя управляемыми колесами, для случая поворота передних и задних колес в одну сторону; в) с четырьмя управляемыми колесами, для случая поворота передних и задних колес в разные стороны

Для машин с жесткими в боковом направлении колесами соотношение средних углов поворота колес управляемых осей должны быть пропорциональны расстояниям от полюса рулевого управления до соответствующих осей [1]:

$$\frac{\mathrm{tg}\Theta_i}{\mathrm{tg}\Theta_j} = \frac{\mathrm{l}_{0i}}{\mathrm{l}_{0j}}. \qquad (1)$$

Углы при мгновенном центре поворота определяются из соотношения:

$$\beta_i = \Theta_i - \delta_i \qquad (2).$$

Так как углы поворота всех колес согласованы, их соотношения подчиняются зависимости (1), то величину радиуса поворота $R_П$, можно найти рассматривая попарно прямоугольные треугольники в которые входит углы β, например OO'A и OO'C:

$$R_П = \frac{L}{\mathrm{tg}\beta_1 + \mathrm{tg}\beta_2}, \qquad (3)$$

где L – расстояние между рассматриваемыми осями.

На машину при повороте действуют следующие силы и моменты (рисунок 2):

- силы внешних сопротивлений, которые приведены условно к одной силе P_C, направленной вдоль оси симметрии машины в сторону, противоположную ее движению;

- продольные R_{xi} и боковые R_{yi} реакции колес;

- моменты сопротивления повороту колес $M_{ПКi}$ и осей $M_{ПОi}$, являющиеся следствием разности реакций внутреннего и наружного колес оси.

Момент сопротивления повороту колеса при его качении в общем случае вычисляется по эмпирической формуле [1]:

$$M_{ПК} = \frac{0{,}375\varphi P_Z \sqrt{\pi d_K b_K / 4}}{1 + 0{,}15 R_П / b_K}. \qquad (4)$$

где l_K и b_K – оси эллиптического отпечатка шины; P_Z – вертикальная сила, действующая на колесо; φ – коэффициент сцепления.

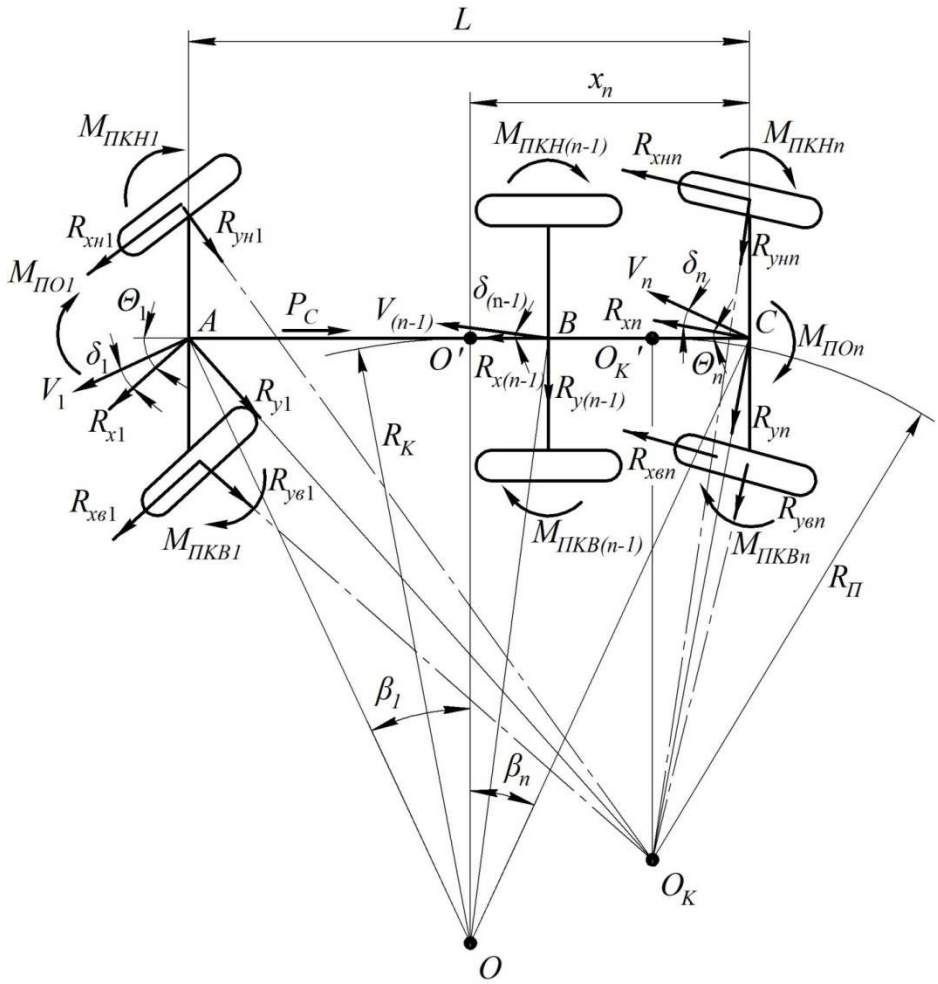


Рисунок 2 – Кинематическая схема поворота колесной машины с управляемыми колесами двух осей с указанием сил и моментов, действующих на машину при криволинейном движении

Тогда суммарный момент сопротивлению поворота выглядит следующим образом [1]:

$$M_{П\Sigma} = \sum_{i=1}^{2n} M_{ПКi} + \sum_{i=1}^{n} M_{ПОi}. \quad (5)$$

Для того чтобы определить неизвестные величины составлены уравнения равновесия машины в плоскости дороги [1]:

$$m_M a_X = \sum_{i=1}^{n} R_{Xi} \cos\Theta_i + \sum_{i=1}^{n} R_{Yi} \sin\Theta_i - P_C;$$

$$m_M a_Y = \sum_{i=1}^{n} R_{Xi} \sin\Theta_i + \sum_{i=1}^{n} R_{Yi} \cos\Theta_i; \qquad (6)$$

$$I_Z \frac{d\omega_Z}{dt} = \sum_{i=1}^{n} R_{Xi} l_i \cos\Theta_i + \sum_{i=1}^{n} R_{Yi} l_i \sin\Theta_i - M_{П\Sigma}.$$

Рассмотрев прямоугольные треугольники $O_K O_K$'A - $O_K O_K$'C и OO'A - OO'A, получаем:

$$\Theta_i = -\, arctg\, [(l_{in} - x_П)/R_П]; \qquad (7)$$

$$\delta_i = \Theta_i - arctg\, [(l_{in} - x_П)/R_П]. \qquad (8)$$

где l_{in} – расстояние от задней до i-й оси; $x_П$ = расстояние от полюса рулевого управления до задней оси.

В качестве современных примеров применения системы управления поворотом колес двух и более осей можно привести автокран Liebherr серии LTM. Однако на подобных машинах использование данной системы, скорее всего, обуславливается очень большой габаритной длиной, порядка 15-18 метров. И применяется большей частью для того, чтобы автокран мог маневрировать хотя бы на городских улицах.

Библиографический список

1. *Смирнов, Г.А.* Теория движения колесных машин : Учебник для студентов автомобильных специальностей вузов / Г.А. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1990 – 352 с.

2. *Щербаков, В.С.* Оптимизация конструктивных параметров гидравлических рулевых механизмов строительных и дорожных машин : монография / В.С. Щербаков, А.В. Жданов. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2010. – 176 с.