

УДК 623.438

## **ПОВОРОТЛИВОСТЬ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ 8×8 С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ**

*М.Н. Тазетдинов, А.И. Хахалев*

Предоставлен анализ путей повышения динамической поворотливости бронетранспортёра с комбинированной системой управления поворотом. Разработан метод оценки динамической поворотливости колёсной машины с различными системами управления поворотом, основанный на использовании методов статической динамики и имитационного моделирования. Установлено, что сравнение различных систем управления поворотом показало возможность повышения средней технической скорости, ограниченной заносом колёсной машины, использованием комплексной системы управления поворотом КСУП.

Ключевые слова: поворотливость, средняя техническая скорость, системы управления поворотом.

Эффективность колёсной машины (КМ) зависит от её подвижности, которая определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, одним из которых является поворотливость [1, с. 3]. Как известно, поворотливость – свойство машины совершать повороты с максимальной кривизной на дороге и местности [3, с. 88]. Поворотливость разделяют на статическую и динамическую [4, с. 19]. Одним из основных критериев статической поворотливости является максимальная кривизна поворота. Обеспечить большую кривизну можно использованием поворота «по-гусеничному», то есть изменением соотношения скоростей вращения колёс разных бортов. Кроме этого, такая система позволяет увеличить полезный объём, который освобождается за счёт отсутствия поворачиваемых колёс. Это имеет особенное значение для боевых колёсных машин с целью увеличения внутреннего пространства [1, с. 237]. Примером является французская боевая колёсная машина AMX-10RC, стоящая на вооружении во Франции, странах Азии и Африки (см. рис. 1).

Ещё одним достоинством использования данного способа поворота является унификация узлов трансмиссии с гусеничной машиной для построения унифицированных семейств. Так, в AMX-10RC используется общая с БМП AMX-10P моторно-трансмиссионная установка (МТУ).

Одними из недостатков «по-гусеничному» колёсной машины являются высокие затраты мощности на его выполнение и износ шин, поэтому существуют образцы техники, в которых используется комбинированная система управления поворотом: изменением угла поворота управляемых колёс и изменением соотношения скоростей вращения колёс разных бортов.



Рис. 1. Боевая колёсная машина AMX-10RC

Такая система является компромиссным решением. Например, автомобиль ANED компании General Dynamics UK (рис. 2) имеет управляемые колёса двух передних осей, а реализация электромоторколёс позволяет выполнять бортовой поворот.



Рис. 2. Бронированный автомобиль ANED

На вооружении армии РФ стоит БТР-90 с бортовой раздачей мощности (рис. 3), который оборудован комбинированной системой управления поворотом, состоящей из управляемых колёс 2-х передних осей и гидрообъёмного механизма поворота (ГОМП), однако в настоящее время ГОМП используется только для выполнения поворота с максимальной кривизной на малых скоростях.

Кроме повышения статической поворотливости внедрением в эту систему алгоритмов динамической стабилизации можно добиться повышения

динамической поворотливости КМ, то есть способности машины к поворотам при движении с высокими скоростями [4, с. 19].



Рис. 3. Бронетранспортёр БТР-90

В данной статье представлен анализ путей повышения динамической поворотливости бронетранспортера БТР-90 с комбинированной системой управления поворотом (КСУП). Для сравнения предложенной системы с другими разработан метод оценки динамической поворотливости колёсной машины с различными системами управления поворотом, основанный на использовании методов статистической динамики и имитационного моделирования.

Показателем качества работы КСУП является стремление фактической кривизны к кривизне, задаваемой водителем:

$$K_p \rightarrow K_f. \quad (1)$$

Задаваемая кривизна связана с кинематическим радиусом, который определяется положением рулевого колеса и зависит от конструкции рулевого управления:

$$K_{зад} = 1/R_k. \quad (2)$$

Фактическую кривизну с точностью, достаточной для реализации алгоритма динамической стабилизации посредством КСУП, заменим на расчётную кривизну, которая определяется по формуле:

$$K_p = \omega_z / V_c, \quad (3)$$

где  $\omega_z$  – угловая скорость КМ относительно вертикальной оси, определяемая гироскопическим датчиком угловой скорости;  $V_c$  – поступательная

скорость центра масс машины, которая определяется по частоте вращения выходного вала главной передачи, измеряемой индуктивным датчиком.

При работе КСУП положение регулировочной шайбы, которая определяет значение относительного рабочего объёма насоса ГОМП, задаётся так, чтобы обеспечить минимальную разницу между указанными кривизнами. Динамическая поворотливость характеризуется степенью снижения средней скорости машины из-за встречающихся на пути поворотов [4, с. 19]. Снижение средней скорости вызвано опасностью заноса машины, поэтому сравнить динамическую поворотливость машины с различными системами управления поворотом можно по средней технической скорости, ограниченной заносом. Средняя техническая скорость – это реальная скорость машины в заданных условиях при идеальном безошибочном управлении или управлении идеальным водителем [2, с. 11].

Для получения средней технической скорости, ограниченной заносом, необходимо получить функцию максимальной кривизны пути, ограниченной заносом, от скорости движения КМ,  $K_d = K_d(V)$ .

В процессе теоретических исследований была проведена оценка динамической поворотливости КМ с тремя различными системами управления поворотом:

- 1) система управления поворотом с помощью изменения угла поворота управляемых колёс 2-х передних осей;
- 2) система бортового поворота с системой динамической стабилизации, которая работает по описанному выше закону, где задаваемая кривизна определяется положением штурвала;
- 3) комплексная система управления поворотом КСУП.

Расчёты были проведены для криволинейного движения по двум типам опорного основания: с высокими и низкими сцепными свойствами. Коэффициенты сцепления колёсного движителя с опорной поверхностью при полном скольжении соответственно равны 0,6 и 0,3 и не зависят от направления скольжения пятна контакта.

Кинематическая взаимосвязь углов поворота управляемых колёс во всех системах обеспечивала минимальное скольжение неуправляемых колёс при любой кривизне поворота. Определялись предельные значения кривизны поворота и скорости для установившегося движения, по которым далее строилась функция максимальной кривизны, ограниченной заносом, от скорости КМ. Для КМ с системами управления поворотом, которые используют алгоритм динамической стабилизации, определялась максимальная скорость установившегося криволинейного движения с заданной кривизной. Диапазон изменения кривизны определялся диапазоном, который можно обеспечить с помощью поворота управляемых колёс.

На рис. 4 и 5 представлены полученные зависимости кривизны поворота от критической скорости по сцеплению, которая ограничивается только параметрами взаимодействия колёс с опорным основанием.

Анализ выполненных расчётов позволяет сделать вывод о том, что КМ 8x8, оборудованная системой бортового поворота с динамической стабилизацией или КСУП, на малых и средних скоростях может поворачивать с большой кривизной. При этом на основаниях с высокими сцепными свойствами преимущество систем управления поворотом с динамической стабилизацией по сравнению с системой управления поворотом с управляемыми колёсами двух передних осей возрастает.

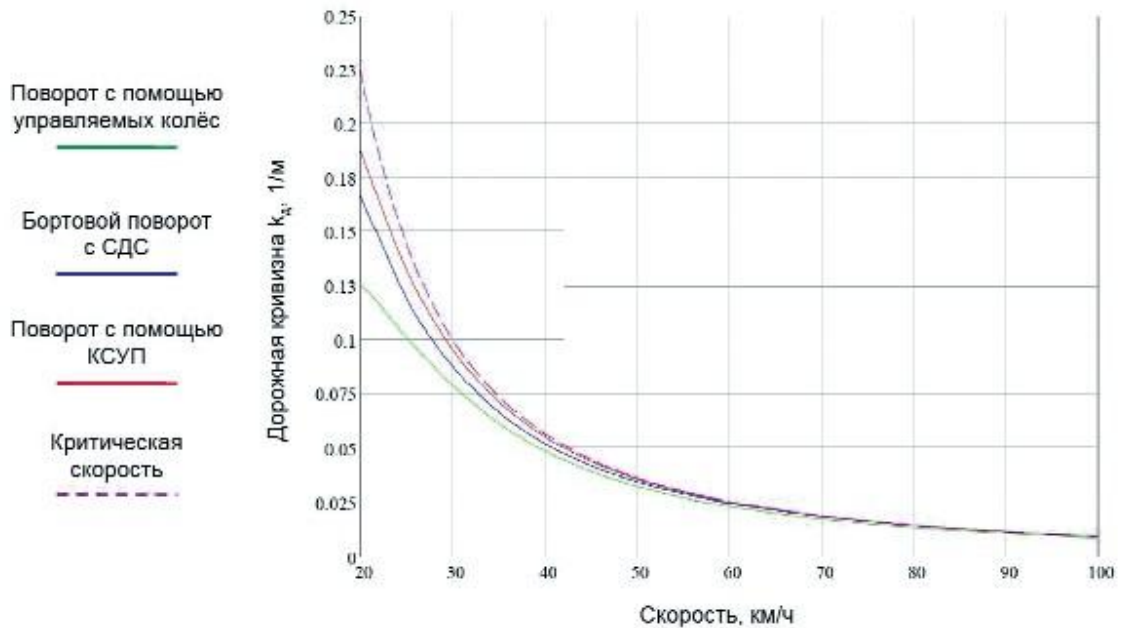


Рис. 4. Функция максимальной кривизны, ограниченной заносом, от скорости при криволинейном движении по основанию с высокими сцепными свойствами

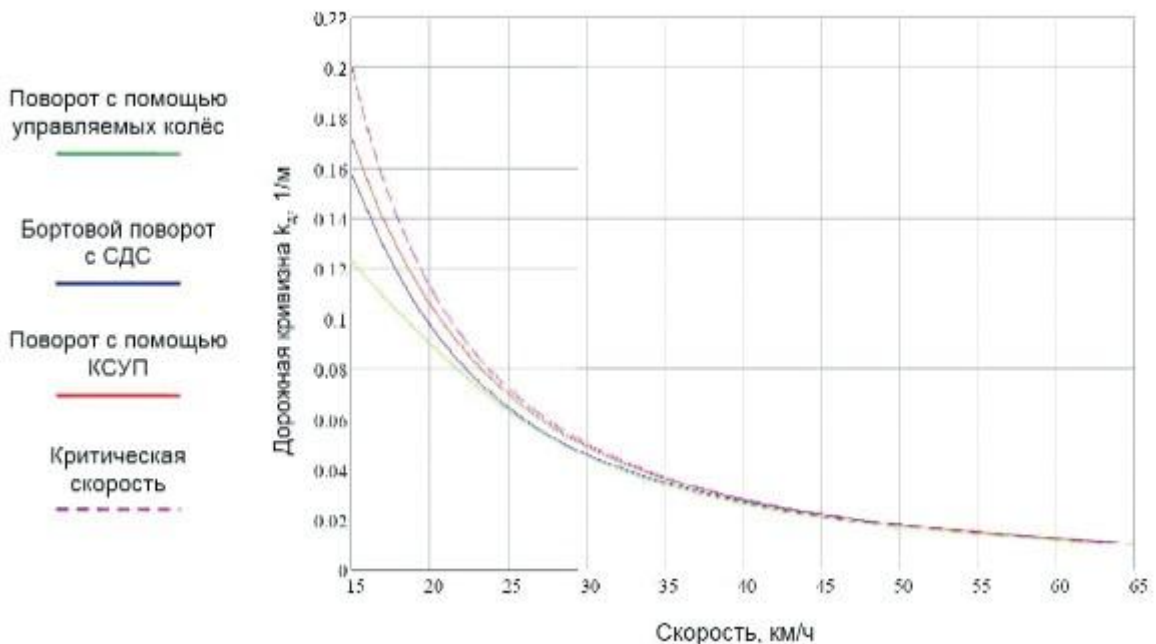


Рис. 5. Функция максимальной кривизны, ограниченной заносом, от скорости при криволинейном движении по основанию с низкими сцепными свойствами

Сравнение различных систем управления поворотом показало возможность повышения средней технической скорости, ограниченной заносом КМ, использованием КСУП. С увеличением сцепных свойств взаимодействия колеса с опорным основанием и кривизны выполняемого манёвра увеличивается преимущество по технической скорости выполнения манёвра колёсной машины с КСУП по сравнению с другими системами управления поворотом. Применение предложенной системы позволяет увеличить среднюю техническую скорость, ограниченную заносом, на 10 % по сравнению с поворотом управляемыми колёсами на основании с высокими сцепными свойствами.

#### Библиографический список

1. Теория движения боевых колесных машин / Д.А. Антонов, С.И. Беспалов, В.П. Лазаренко и др. – М.: Издание академии бронетанковых войск, 1993. – 385 с.
2. Дмитриев, А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин / А.А. Дмитриев, В.А. Савочкин. – М.: Машиностроение, 1993. – 320 с.
3. Смирнов, Г.А. Теория движения колёсных машин: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.А. Смирнов. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Фаробин, Я.Е. Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

[К содержанию](#)