

УДК 656.052.46

Б.Г. Васильев<sup>1</sup>, Ю.В. Баистов<sup>1</sup>, С.А. Бодько<sup>1</sup>, В.В. Кириченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет воздушных сил им. И.Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup>Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница

## **ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ И МОБИЛЬНОСТИ МОДУЛЬНЫХ МАШИН АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ АВИАЦИИ**

*Впервые обосновывается возможность построения модульной машины с расположением одноосного прицепа с неповоротными колесами впереди тягача. Получен способ управления, обеспечивающий управляемость и устойчивость криволинейного движения такого автопоезда. Показана применимость разработанной методики и для обычного автопоезда с задним расположением прицепа при движении задним ходом.*

**Ключевые слова:** модульная схема машины, автопоезд, одноосный прицеп, маневренность, управляемость, устойчивость движения.

### **Введение**

**Постановка проблемы.** Перспективным направлением модернизации и развития подвижных средств аэродромно-технического обеспечения полетов авиации является концепция модульных схем машин [1].

Энергетический модуль, представляющий собой тягач (машина или трактор) соединен шарнирно с технологическим модулем, представляющем собой одноосный прицеп (или полуприцеп) с неповоротными колесами. Маневренность и мобильность такой схемы двухзвенного автопоезда ухудшается, особенно при движении задним ходом.

Водителю сложно управлять автопоездом при движении назад не только из-за недостаточной обзорности. Зачастую непредсказуемо появляются ситуации, когда автопоезд теряет устойчивость и управляемость – возрастает до предельной величины угол складывания рамы тягача с рамой прицепа. Дальнейшее движение становится невозможным, приходится останавливаться и исправлять положение путем продвижения автопоезда вперед на некоторое расстояние. Длительное движение задним ходом даже по прямой дороге становится практически невозможным. Это существенно ограничивает подвижность в сложных условиях боевого приме-

ния и эксплуатации, когда противник воздействует по наземной составляющей и увеличивает вероятность возникновения заторов на маршрутах движения. Сложным и аварийно опасным является также постановка такого автопоезда задним ходом в сооружение для стоянки и обслуживания.

Указанные недостатки исключали появление до настоящего времени схем с передним расположением одноосного прицепа с неповоротными колесами, хотя для некоторых технологических модулей это просто необходимо, например, для снегоуборочных машин.

Таким образом, проблематичность задачи повышения маневренности и мобильности заключается в обеспечении устойчивости и управляемости при движении вперед автопоезда с передним расположением одноосного прицепа с неповоротными колесами, а также при движении задним ходом автопоезда обычной схемы с задним расположением технологического модуля.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Публикации, посвященные исследованию каких-либо вопросов по маневренности и криволинейному движению автопоезда с передним расположением одноосного прицепа авторам неизвестны. В природе существует подобное явление (процесс), когда человек толкает вперед себя одноосную тележку и управляет криволинейным движением методом поперечного перемещения руки. Для автопоезда такой способ вряд ли приемлем, т.к. требует значительного усложнения узла сочленения тягача с прицепом. Кроме этого проблематичным становится управление автопоездом, т.к. водителю потребуется решать одновременно две задачи – управлять поворотом и технологического модуля и тягача.

Исследованию движения задним ходом автопоезда с полуприцепом посвящено ряд работ [2, 3]. В них получены определенные результаты, которые могут быть некоторой теоретической основой для решения стоящих проблемных задач. Однако до настоящего времени в этой области не получены результаты, доведенные до практической реализации.

Теоретической основой могут служить также работы, посвященные разработке высокоподвижных систем маневрирования средств подвижности с неголономными поворотными колесными связями [4 – 6].

**Цель данной статьи** – разработать способы управления автопоездом, которые обеспечили бы устойчивость и управляемость движения при переднем расположении одноосного прицепа с неповоротными колесами, а также при движении задним ходом автопоезда с задним расположением прицепа.

### Изложение основного материала

Рассматриваемая схема подвижного средства представляет собой двухзвенный автопоезд, у которого первым звеном является технологический модуль в виде одноосного прицепа с неповоротными

колесами, а вторым звеном – энергетический модуль в виде двухосного тягача (автомобиля или колесного трактора) с передними поворотными колесами, управляемыми водителем, и с задними неповоротными колесами.

Каждое колесо (i) автопоезда представляет собой связь звена с поверхностью движения, которая в пределах области ее существования ограничивает движение точки звена, в которой она установлена, только вдоль направления этого колеса, поэтому описывается парой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dy_i}{dS_i} - \sin(\psi_j + \gamma_i) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{dx_i}{dS_i} - \cos(\psi_j + \gamma_i) = 0, \quad (2)$$

где  $x_i, y_i$  – декартовы координаты траектории движения точки i;  $S_i$  – дуговая координата вдоль траектории движения точки (проходимый путь);  $\psi_j$  – абсолютный угол поворота рамы звена j;  $\gamma_i$  – относительный угол поворота колеса (относительно рамы звена j).

В общем случае произвольного движения уравнения (1) и (2) не могут быть проинтегрированы в конечных функциях (а могут быть решены только численными методами), поэтому такие колесные связи по классификации аналитической механики называются неголономными (НГС) [7]. Число этих НГС равно числу колес, значит, число дифференциальных уравнений связи в данном случае равно 12. В пределах области существования НГС их поворот полностью обуславливает траектории криволинейного движения всех точек автопоезда независимо от динамического нагружения. Доказано [2 – 4], что потеря траекторной устойчивости движение происходит при определенном изменении конфигурации неголономной системы. Если правильно построить конфигурацию неголономной системы, то движения становятся устойчивым. Применим известную методику для перехода от реальной неголономной системы к эквивалентной неголономной системе с виртуальными НГС (виртуальными колесами). При корректном переходе движение двух систем будет совершенно одинаковым в отношении траекторий всех точек автопоезда и будет подчиняться одним и тем же закономерностям.

На каждом звене автопоезда выделяют по две задающие НГС (или задающие точки), исключают все избыточные НГС и переходят к эквивалентным задающим виртуальным НГС в соответствии с уравнениями связи НГС исходного автопоезда.

Полученная эквивалентная система представлена на рис. 1. В ней последовательно пронумерованы звенья автопоезда, а затем точки, в которых расположены эквивалентные виртуальные задающие НГС (виртуальные колеса):

- 1 – рама технологического модуля, расположенного впереди автомобиля;
- 2 – рама тягача;
- 3 – точка переднего свеса модуля, в которой расположена поворотная НГС (вдоль  $\vec{V}_3$ );
- 4 – точка неповоротных колес (НГС) модуля;
- 5 – точка шарнирного соединения звеньев 1 и 2;
- 6 – точка передних поворотных колес тягача, в которой расположена поворотная НГС (вдоль  $\vec{V}_6$ );
- 7 – точка задних неповоротных колес (НГС) тягача.

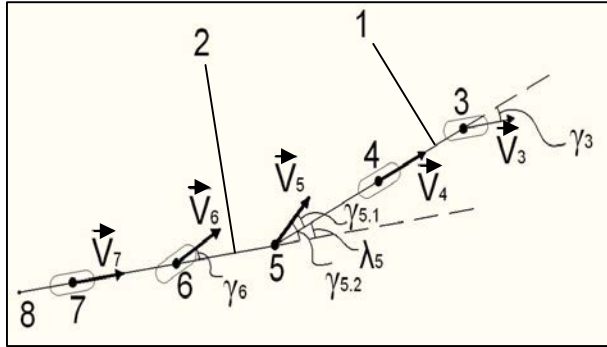


Рис. 1. Эквивалентная схема автопоезда с передним расположением модуля при движении вперед

Относительные углы  $\gamma_i$  поворота виртуальных колес и соответственно векторов скоростей  $\vec{V}_i$  этих точек связаны следующими уравнениями голономных связей:

$$\frac{\operatorname{tg}\gamma_{5,2}}{\operatorname{tg}\gamma_6} - \frac{L_{7,5}}{L_{7,6}} = 0; \quad (3)$$

$$\lambda_5 + \gamma_{5,1} - \gamma_{5,2} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\operatorname{tg}\gamma_3}{\operatorname{tg}\gamma_{5,1}} - \frac{L_{4,3}}{L_{5,4}} = 0, \quad (5)$$

где  $L_{4,3}$ ,  $L_{5,4}$ ,  $L_{7,5}$ ,  $L_{7,6}$  – базы, т.е. расстояния между точками, указанными в индексе;  $\lambda_5$  – угол складывания звеньев 1 и 2 в точке 5.

Водитель, поворачивая рулевое колесо, изменяет  $\gamma_6$  и в соответствии с (3), (4) и (5) изменяет все остальные углы:

$$\gamma_{5,2} = \arctg\left(\frac{L_{7,5}}{L_{7,6}} \operatorname{tg}\gamma_6\right); \quad (6)$$

$$\gamma_{5,1} = \arctg\left(\frac{L_{7,5}}{L_{7,6}} \operatorname{tg}\gamma_6\right) - \lambda_5; \quad (7)$$

$$\gamma_3 = -\arctg\left\{\frac{L_{4,3}}{L_{5,4}} \operatorname{tg}\left[\arctg\left(\frac{L_{7,5}}{L_{7,6}} \operatorname{tg}\gamma_6\right) - \lambda_5\right]\right\}. \quad (8)$$

Полученная возможность управления поворотом вектора  $\vec{V}_3$  на угол  $\gamma_3$  обеспечивает устойчивость и управляемость движения всех звеньев авто-

поезда, т.к. в этом случае первое звено 1 имеет передние поворотные колеса 3, поворачиваемые водителем, и задние неповоротные колеса 4, как у обычного автомобиля, а второе звено 2 представляет собой полуприцеп с задними неповоротными колесами 7, шарнирно присоединенный в точке 5 (которая является задающей) к первому звену. Полученная схема имеет известный стандартный вид широкого распространенного на практике двухзвенного автопоезда с неповоротными колесами одноосного прицепа или полуприцепа, присоединенного сзади к автомобилю-тягачу. Устойчивость и управляемость такого автопоезда подтверждена практикой и не вызывает сомнения. Водителю не требуется управлять задним звеном 2, т.к. оно автоматически следует за первым звеном, как влекомая нить.

Практическая реализация полученного решения, может быть, простой и недорогостоящей. Достаточно установить на автопоезде информационную систему, показывающую для водителя угол  $\gamma_3$  (направление  $\vec{V}_3$ ). Для этого можно, например, установить в точке 3 указатели направления движения (например стрелки, экраны) и связать их поворот с рулевой трапецией тягача 2 с помощью рычажно-тросовой системы в соответствии с (3), (4) и (5).

Еще проще и эффективнее получается информационная система, построенная для отображения направления вектора  $\vec{V}_5$  относительно продольной оси технологического модуля, т.е. для отображения угла  $\gamma_{5,1}$ . Для этого достаточно установить указатель направления в точке 5 и поворачивать его относительно тягача 2 на угол  $\gamma_{5,2}$  с помощью простейшей рычажной системы в соответствии с (2). Дополнительным преимуществом такого способа является улучшение эргономических показателей – указатель находится прямо перед лобовым стеклом кабины водителя.

Предлагаемая методика позволяет разработать аналогичный способ управления для устойчивого движения задним ходом двухзвенного автопоезда известной традиционной схемы, когда к тягачу сзади присоединен шарнирно технологический модуль в виде одноосного прицепа или полуприцепа.

Эквивалентная неголономная схема такого автопоезда с виртуальными НГС представлена на рис. 2. Отличие от предыдущей схемы получается только в звене 2 – поворотные колеса оказываются сзади в точке 7, что приводит к изменению (3), (6) и (8). Тягач 2 при движении автопоезда задним ходом опять становится вторым звеном и превращается в полуприцеп с неповоротными колесами в точке 6.

Водитель поворотом рулевого колеса изменяет  $\gamma_7$  и синхронно поворачивает указатель направления в точке 5 (или 3), выставляя необходимый ему

угол  $\gamma_{5,1}$  (или  $\gamma_3$ ), а тягач 2 автоматически следует за модулем 1, чем обеспечивается управляемость и устойчивость всего автопоезда.

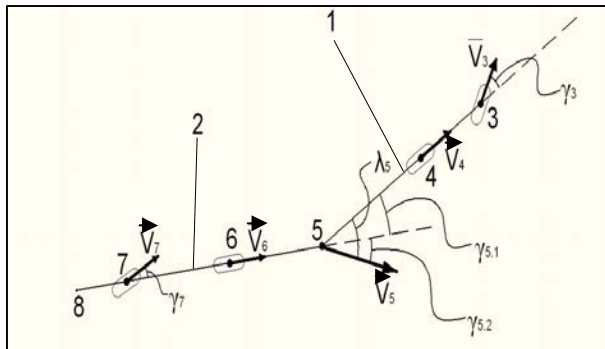


Рис. 2. Эквивалентная схема автопоезда с задним расположением модуля при движении назад

### Выводы

Нерешенность проблемы повышения маневренности и мобильности двухзвенных схем автопоезда тормозит процесс развития машин аэродромно-технического обеспечения полетов авиации в направлении появления перспективных модульных схем.

Особенно проблемным является обеспечение устойчивости и управляемости движения при переднем расположении технологического модуля с неповоротными колесами и при движении задним ходом автопоезда с задним расположением технологического модуля.

Впервые разработан способ управления движением, обеспечивающий устойчивость и управляемость всех звеньев автопоезда как при переднем расположении технологического модуля, так и при заднем расположении для случая движения автопоезда задним ходом.

Разработанные способы управления движением просты в реализации, не требуют изменений в кон-

струкции автопоезда. Устойчивость и управляемость движения достигается за счет установки на автопоезд недорогостоящей информационной системы, которая упрощает для водителя решение задач управления поворотом и маневрированием автопоезда.

### Список литературы

1. Подригало М.А. Формування гальмових та динамічних властивостей модульної техніки для аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації / М.А. Подригало, В.М. Краснокутський, В.В. Кириченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – № 3 (11). – С. 69-73.
2. Васильев Б.Г. Применение основ теории маневренности в задачах маневрирования автопоезда задним ходом / Б.Г. Васильев // Сборник научных трудов ХВУ. – Х.: ХВУ, 1997. – Вып. 15. – С. 194-198.
3. Сахно В.П. Курсова стійкість двох ланкового автопоезда при русі заднім ходом / В.П. Сахно, Б.Г. Васильев, С.В. Гейко // Автошляховик України: Окремий випуск: Вісник Центрального Наукового Центру Транспортної Академії України. – 2000. – № 3. – С. 94-97.
4. Васильев Б.Г. Основы теории маневренности систем с неголономными управляемыми колесными связями / Б.Г. Васильев, С.А. Марцинкевич // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Х.: ХНАДУ, 2001. – Вып. 7-8. – С. 126-128.
5. Толубко В.Б. Решение проблемы маневренности увеличением степени подвижности машин с неголономными связями колесного типа / В.Б. Толубко, Б.Г. Васильев, А.М. Березан // Механіка та машинобудування, 2009. – № 2. – С. 96-102.
6. Толубко В.Б. Перспективи підвищення мобільності і безаварійності засобів рухомості озброєння і військової техніки за рахунок рішення проблеми маневренності / В.Б. Толубко, Б.Г. Васильев, А.М. Березан // Системи озброєння і військова техніка: наук. ж. – № 4(20). – С. 62-66.
7. Лобас Л.Г. Неголономные модели колесных экипажей / Л.Г. Лобас. – К.: Наукова думка, 1986. – 231 с.

Поступила в редколлегию 11.01.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ПІДВИЩЕННЯ МАНЕВРНОСТІ МОДУЛЬНИХ МАШИН АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВАЦІЇ

Б.Г. Васильєв, Ю.В. Баїстов, С.О. Бодько, В.В. Кириченко

Вперше обґрунтовується можливість побудови модульної машини з розташуванням одновісного причепа з неповоротними колесами попереду тягача. Отриманий спосіб керування, що забезпечує управляємість та стійкість криволінійного руху такого автопотягу. Показана застосовуваність розробленої методики і для звичайного автопотягу з заднім розташуванням причепа при русі заднім ходом.

**Ключові слова:** модульна схема машини, автопотяг, одновісний причеп, маневреність, управляємість, стійкість руху.

### THE MANOEUVRABILITY AND MOBILITY INCREASE OF MODULAR ENGINES OF THE AVIATION FLIGHTS AIRFIELD-TECHNICAL ENSURING

B.G. Vasil'ev, Y.V. Baistov, S.A. Bodko, V.V. Kirichenko

The possibility of modular engine construction with the disposition of the monoaxial trailer with unrotary wheels in front of the prime mover is grounded for the first time. The way of driving, which provides controllability and steadiness of the curvilinear movement of the articulated truck of such a kind is obtained. The applicability of the developed methodology for the usual articulated truck with the back disposition of the trailer by reverse movement is shown.

**Keywords:** modular engine scheme, articulated truck, monoaxial trailer, manoeuvrability, controllability, steadiness of movement.