

УДК 656. 052. 46

Н.Н. Момот, Б.Г. Васильев, Ю.В. Баистов, Р.В. Гунько, К.В. Койдан

Харьковский университет воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ЗАДАЧ МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВ АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Рассматривается модульная концепция перспектив развития средств аэродромно-технического обеспечения полетов (САТОП). Приводятся решения проблемных задач, позволяющих все САТОП без исключения построить в виде двухзвенных автопоездов, у которых технологические модули выполнены в виде одноосного или двухосного прицепа, присоединенного сзади или спереди любого серийного автомобиля. Полученные решения позволяют с помощью системы мониторинга направления движения добиться управляемости и устойчивости движения всех звеньев автопоезда как вперед так и назад.

Ключевые слова: модульная схема САТОП, технологический модуль, энергетический модуль, двухзвенный автопоезд, одноосный (двухосный) прицеп, движение задним ходом, управляемость, устойчивость движения, система мониторинга направления движения.

Введение

Постановка проблемы. Все множество грузовых автомобилей, применяемых на аэродроме, по функциональному назначению можно классифицировать следующим образом:

$$N_{\text{НМ}} = N_1 + N_2 ; \quad (1)$$

$$N_1 = N_3 + N_4 + N_5 ; \quad (2)$$

$$N_{\text{НМ}} = N_1 + N_2 , \quad (3)$$

где $N_{\text{НМ}}$ - суммарное число грузовых автомобилей при существующей немодульной схеме по-

строения средств аэродромно-технического обеспечения полетов (САТОП);

N_1 - автомобили в составе САТОП;

N_2 - грузовые автомобили для перевозки личного состава и различных грузов вне САТОП;

N_3 - серийные автомобили без доработок, на которых смонтировано оборудование САТОП на заводе – изготовителе;

N_4 - специализированные автомобили с доработками под оборудование САТОП (снегоочистительные, уборочные, тепловые и другие)

N_5 - автомобили, на которые спецоборудование САТОП для транспортирования перегружается с помощью кранов (например – транспортные резервуары);

N_6 - автомобили в составе существующих САТОП, выполненных по модульной схеме с одноосными прицепами (например – АЭМГ– 60/30, АМЗ – 53МС) или с двухосными (например - УКС–400В, АПБО–200/400, КНД–1,2–2П);

N_7 - машины, у которых технологическое оборудование САТОП, в случае модульного исполнения, допускает размещение по широко известной схеме – на прицепе, сзади автомобиля;

N_8 - машины, у которых технологическое оборудование может быть размещено только спереди автомобиля.

подавляющее большинство существующих машин САТОП выполнены по немодульной схеме (исключение - N_6).

В этих машинах, кроме N_5 , автомобиль жестко интегрирован с технологическим оборудованием САТОП, и эта интеграция выполнена в заводских условиях, что является основным источником существующих, в наше время, недостатков и преградой на пути модернизации и обновления этой техники.

При модульном построении машина состоит из двух модулей: энергетического (автомобиля – тягача) и технологического (оборудование САТОП, размещенное на одноосном или двухосном прицепе), которые могут функционировать и эксплуатироваться независимо друг от друга и легко соединяться для задач передвижения.

Такое решение позволяет достичь существенного положительного эффекта:

1. Развязать между собой решение двух важнейших ресурсных задач: независимость решений для ресурса технологического оборудования от ресурса автомобиля позволяет продлить ресурсные возможности САТОП и упростить в дальнейшем решение этой задачи;

2. Сократить общее число автомобилей при одновременном увеличении парка автомобилей, кото-

рые могут использоваться в условиях обычного функционирования аэродрома:

$$N_2 = N_1 + N_{\text{резерв}}; \quad (4)$$

$$N_1 = N_{1M} + N_{1HM}; \quad (5)$$

$$N_2 < N_M < N_{HM}, \quad (6)$$

где N_M – общее число грузовых автомобилей на аэродроме после перевода САТОП на модульную схему построения;

$N_{\text{резерв}}$ - некоторый (незначительный) резерв автомобилей для выполнения задач САТОП в случае возникновения форс-мажорных обстоятельств;

N_{1M} - число автомобилей в составе САТОП, которые удалось перевести на модульную схему построения;

N_{1HM} - число автомобилей в составе САТОП, которые не удалось перевести на модульную схему построения;

3. Упростить эксплуатацию и снизить затраты на всех этапах;

4. Снизить стоимость всего жизненного цикла при модернизации и разработке САТОП, что значительно упростит задачи модернизации в современных условиях жестких ограничений финансирования и производственного потенциала государства;

5. Улучшить вероятностные показатели успешного выполнения задач САТОП, так как исключается влияние интенсивности отказов автомобиля – любой технологический модуль может транспортироваться любым автомобилем из числа исправных;

6. Решить проблему для параметров проходимости и подвижности снегоуборочных машин – угол въезда, клиренс, радиусы продольной и поперечной проходимости;

Наибольший положительный эффект достигается при $N_{1HM} \rightarrow 0$ и в пределе - $N_{1HM} = 0$ (для этого необходимо $N_4 = 0$). Поэтому проблемной задачей является сложность перевода снегоуборочных машин на модульные схемы построения, принципиальной отличительной особенностью которых является технология выполняемой операции, которая требует обязательного расположения технологического модуля впереди автомобиля. Примеры расположения прицепа впереди автомобиля в настоящее время отсутствуют, так как до сих пор не найдено практически приемлемого решения по управлению курсовым движением такого автопоезда.

Второй проблемной задачей для модульных САТОП является управление курсовым движением прицепа при подаче задним ходом.

Остальные недостатки, связанные с переходом на модульные схемы построения, незначительные и не носят проблемный характер: некоторое снижение динамических свойств машин и показателей маневренности.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования вопросов модульного построения САТОП активизировались за последнее десятилетие, что связано с обострением проблемы ресурса существующей техники и с необходимостью поиска путей нестандартного решения. Этим вопросам посвящены работы [1-5].

Принципиальная возможность решения наиболее проблемной задачи при управлении курсовым движением одноосного прицепа, расположенного впереди автомобиля (при движении вперед) или сзади (при движении задним ходом) обоснована в работах [4, 6, 7]. Получены важные предварительные решения, которые однако требуют уточнения и обобщения.

Цель данной работы - получить конечные решения, достаточные для построения системы мониторинга движения одноосного прицепа, позволяющей решить две проблемные задачи – управление двухзвенным автопоездом при движении вперед и

переднем расположении прицепа и управление двухзвенным автопоездом при движении назад и заднем расположении прицепа.

Изложение основного материала

Обобщенная модель модульной схемы автопоезда приведена на рис. 1. Она отображает все возможные варианты модульного построения САТОП. Самыми проблемными машинами являются снегоочистительные. Для таких машин, как роторный снегоочиститель, при выполнении работ все технологическое оборудование, включая и автономный двигатель, располагается на прицепе 1 впереди автомобиля 2 (на рисунке шнекоротор показан в рабочем положении). Эти два звена соединены друг с другом шарнирно в точке сцепки 7. При движении вперед возникает проблемная задача – как управлять одновременно двумя звеньями автопоезда? Отсутствие решения этой задачи исключает практическое появление такой схемы.

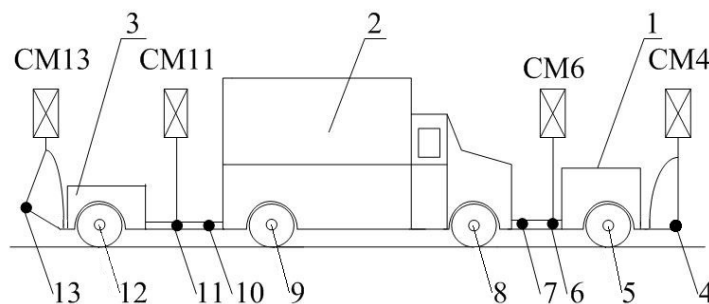


Рис. 1. Обобщенная модель модульной схемы автопоезда:

1 – технологический модуль в виде одноосного прицепа с неповоротными колесами (например – роторный снегоочиститель в рабочем положении); 2 – энергетический модуль в виде серийного грузового автомобиля; 3 – заднерасположенный технологический модуль (например – роторный снегоочиститель в транспортном положении); 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – продольно расположенные точки автопоезда, обозначенные для описания конфигурации неголономной системы связей, определяющих закономерности курсового движения; SM4, SM6, SM11, SM13 – системы мониторинга направлений движения точек, в которых они расположены

Для всех остальных модульных схем машин технологическое оборудование размещено на одноосном прицепе 3, присоединенном шарнирно в точке 10 сзади автомобиля 2. При движении вперед никаких проблем не возникает: прицеп повторяет движение автомобиля с некоторыми отклонениями траекторий движения к центру поворота, что несколько ухудшает показатели маневренности. Однако при движении назад появляется аналогичная проблемная задача управления одновременно двумя звеньями автопоезда. Причем управление требуется даже при движении по прямой – прицеп является неустойчивым звеном и постоянно отклоняется от требуемой прямолинейной траектории движения [6, 7].

Для данной обобщенной модели модульной схемы на рис.2 приведена конфигурация неголономной системы связей, которая определяет движение всех звеньев автопоезда [8, 9]. Это движение описывается системой уравнений:

$$\frac{dy_5}{ds_5} - \sin \psi_1 = 0; \quad (7)$$

$$\frac{dx_5}{ds_5} - \cos \psi_1 = 0; \quad (8)$$

$$\frac{dy_8}{ds_8} - \sin(\psi_1 + \gamma_8) = 0; \quad (9)$$

$$\frac{dx_8}{ds_8} - \cos(\psi_2 + \gamma_8) = 0; \quad (10)$$

$$\frac{dy_9}{ds_9} - \sin \psi_2 = 0; \quad (11)$$

$$\frac{dx_9}{ds_9} - \cos \psi_2 = 0; \quad (12)$$

$$\frac{dy_{12}}{ds_{12}} - \sin \psi_3 = 0; \quad (13)$$

$$\frac{dx_{12}}{ds_{12}} - \cos \psi_3 = 0; \quad (14)$$

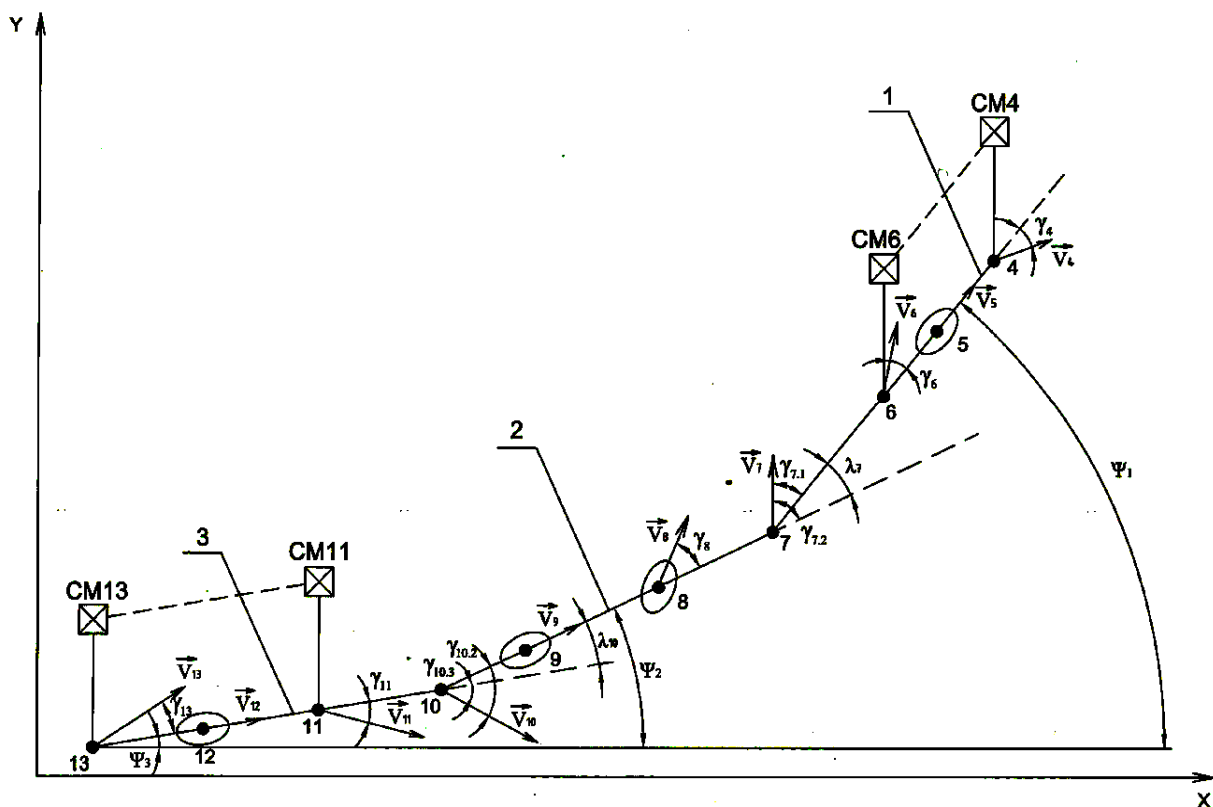


Рис. 2. Конфігурація неголономної системи зв'язей автопоїзда:

ψ_1, ψ_2, ψ_3 – курсові углы звеньев 1, 2, 3; $\gamma_4, \gamma_6, \gamma_{7.1}, \gamma_{7.2}, \gamma_8, \gamma_{11}, \gamma_{13}$ – относительные углы поворота векторов скоростей в соответствующих точках (4, 6, 7, 11, 13); λ_7, λ_{10} – углы складывания смежных звеньев автопоїзда в соответствующих точках шарнирных соединений.

$$\frac{ds_9}{ds_5} - \cos \lambda_7 = 0; \quad (15)$$

$$\frac{ds_9}{ds_8} - \cos \gamma_8 = 0; \quad (16)$$

$$\frac{ds_{12}}{ds_9} - \cos \lambda_{10} = 0; \quad (17)$$

$$\lambda_7 - \psi_1 + \psi_2 = 0; \quad (18)$$

$$\lambda_{10} - \psi_2 + \psi_3 = 0; \quad (19)$$

$$\lambda_7 - \gamma_{7.1} + \gamma_{7.2} = 0; \quad (20)$$

$$\lambda_{10} - \gamma_{10.2} + \gamma_{10.3} = 0; \quad (21)$$

$$L_{7.5} \sin \psi_1 - x_5 + x_7 = 0; \quad (22)$$

$$L_{9.8} \sin \psi_2 - x_8 + x_9 = 0; \quad (23)$$

$$L_{12.10} \sin \psi_3 - x_{10} + x_{12} = 0; \quad (24)$$

$$L_{7.5} \operatorname{tg} \gamma_4 + L_{5.4} \operatorname{tg} \gamma_{7.2} = 0; \quad (25)$$

$$L_{9.8} \operatorname{tg} \gamma_{7.2} - L_{9.7} \operatorname{tg} \gamma_8 = 0; \quad (26)$$

$$L_{5.4} \operatorname{tg} \gamma_6 + L_{6.5} \operatorname{tg} \gamma_4 = 0; \quad (27)$$

$$L_{9.8} \operatorname{tg} \gamma_{10.2} + L_{10.9} \operatorname{tg} \gamma_8 = 0; \quad (28)$$

$$L_{12.11} \operatorname{tg} \gamma_{13} + L_{13.12} \operatorname{tg} \gamma_{11} = 0; \quad (29)$$

$$L_{7.5} \operatorname{tg} \gamma_6 - L_{6.5} \operatorname{tg} \gamma_{7.1} = 0; \quad (30)$$

$$L_{12.10} \operatorname{tg} \gamma_{11} - L_{12.11} \operatorname{tg} \gamma_{10.3} = 0; \quad (31)$$

где S_5, S_8, S_9, S_{12} – дуговые координаты точек, номера которых соответствуют индексу (путь проходимый данной точкой);

$L_{7.5}, L_{9.8}, L_{12.10}, L_{5.4}, L_{9.7}, L_{6.5}, L_{10.9}, L_{12.11}, L_{13.12}$ – расстояния между двумя точками, указанными в индексе.

Уравнения (7) – (14) описывают неголономные связи в точках (5), (8), (9), и (12) [8]. Остальные уравнения отражают голономные связи между соответствующими точками.

Водитель в процессе движения автопоїзда задает два параметра: S_9 (или S_8) и γ_8 . Решая приведенную систему уравнений можно получить все остальные необходимые неизвестные параметры.

Для контроля движения технологических модулей водителю необходимо видеть колеса (5) и (12), так как направления векторов \vec{V}_5 и \vec{V}_{12} совпадают с плоскостями этих колес. Кроме того необходимо иметь информацию о направлениях движения точек (4), (6), (11) и (13), без чего невозможно прогнозировать траектории их движения и управлять ими.

Водителю без специальной системы мониторинга невозможно определить направления движения точек 4, 7, 11 и 13, которые располагаются впереди или сзади от неповоротных колес прицепа и их

векторы скоростей не совпадают с плоскостями этих колес. Более того, невозможно даже определить знак этих отклонений, т.е. в какую сторону от продольной оси прицепа отклонены эти векторы ($\vec{V}_4, \vec{V}_7, \vec{V}_{11}, \vec{V}_{13}$), так как на этот результат в каждый момент движения оказывают непосредственное влияние одновременно два параметра: для прицепа 1 – это γ_8 и λ_7 , а для прицепа 3 – это γ_8 и λ_{10} .

Необходимые аналитические зависимости получаем из решения системы (7) – (31):

$$\gamma_4 = -\arctg\left(\frac{L_{5.4}}{L_{7.5}} \operatorname{tg}\left(\arctg\left(\frac{L_{9.7}}{L_{9.8}} \operatorname{tg}\gamma_8\right) - \lambda_7\right)\right); \quad (32)$$

$$\gamma_6 = \arctg\left(\frac{L_{6.5}}{L_{7.5}} \operatorname{tg}\left(\lambda_7 + \arctg\left(\frac{L_{9.7}}{L_{9.8}} \operatorname{tg}\gamma_8\right)\right)\right); \quad (33)$$

$$\gamma_{11} = -\arctg\left(\frac{L_{12.11}}{L_{12.10}} \operatorname{tg}\left(\lambda_{10} + \arctg\left(\frac{L_{10.9}}{L_{9.8}} \operatorname{tg}\gamma_8\right)\right)\right); \quad (34)$$

$$\gamma_{13} = \arctg\left(\frac{L_{13.12}}{L_{12.10}} \operatorname{tg}\left(\lambda_{10} + \arctg\left(\frac{L_{10.9}}{L_{9.8}} \operatorname{tg}\gamma_8\right)\right)\right). \quad (35)$$

Таким образом, система мониторинга должна включать в себя: измерение углов γ_8 , λ_7 и λ_{10} , вычисление зависимостей (32) – (35) и отображение

для водителя результатов вычислений путем установки в точках (4), (6), (11) и (13) соответствующей хорошо видимой индикации (СМ4, СМ6, СМ11, СМ13). Кроме этого из анализа зависимостей (32) – (35) видно, что водитель может путем поворота рулевого колеса изменять не только γ_8 , а и управлять всеми углами: $\gamma_4, \gamma_6, \gamma_{11}, \gamma_{13}$. Поскольку все эти углы взаимозависимы, то необходимо выбрать один из них для управления движением автопоезда.

С точки зрения эргономики, наилучшими являются ближайшие к водителю точки – 6 и 11. Однако, в этом случае движение прицепа неустойчиво – при малейшем отклонении колес 5 от требуемой траектории (рис. 3, а), управляющее воздействие на поворот вектора \vec{V}_6 и на угол γ_6 приводит к увеличению отклонения колес. Поэтому необходимо выбрать управление в точке 4 (а при движении назад – в точке 13). В этом случае движение прицепа становится устойчивым (рис. 3, б), а управление остальными звеньями не требуется – они будут автоматически устойчиво повторять движение впереди идущего прицепа, управляемого водителем путем поворота рулевого колеса автомобиля.

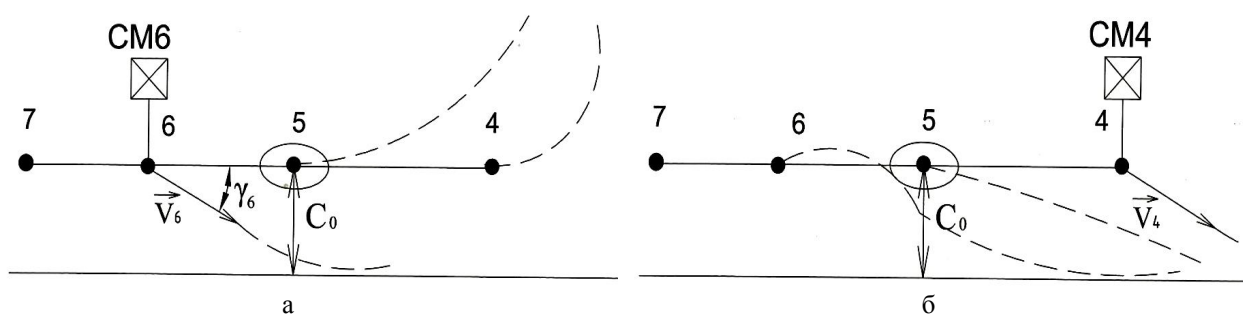


Рис. 3. Влияние выбора системы мониторинга на устойчивость движения: а – неустойчивое движение; б – устойчивое движение.

Возможен также вариант построения системы мониторинга на основе датчика “пятое колесо”, который показывает направление движения в точке, где он установлен. Такой датчик необходимо устанавливать в точке 4 (при движении назад в точке 13), и вывести от него индикатор поворота для прямой видимости водителем. Преимуществами этого варианта являются: предельная простота, надежность и дешевизна – не требуется измерять углы γ_8 , λ_7 и λ_{10} и вычислять (32) и (35). Недостатком является отсутствие показаний при остановке, когда датчик не реагирует на повороты руля автомобиля. Если технологическое оборудование не позволяет установить “пятое колесо” в точке 4 (например у шнекороторного снегоочистителя), то его можно установить в точке 6 и соединить любой механической связью (тросовой, цепной), реализующей зависимость (27), с индикатором СМ4.

Выводы

При переводе САТОП на модульные схемы построения наибольший эффект достигается при равенстве нулю числа непереукомплектованных машин.

Проблемной задачей является перевод на модульную схему шнекороторных снегоуборочных машин и другой уборочной техники, для которых требуется технологический модуль размещать обязательно впереди автомобиля, что требует решения задачи управления курсовым движением двухзвенового автопоезда с передним расположением прицепа.

Второй задачей, для которой до настоящего времени не существует решения, является проблема управления движением всех остальных модульных САТОП при подаче назад прицепа с неповоротными колесами – нерешенными остаются вопросы обеспечения управляемости и устойчивости движения.

Получены решения проблемных задач, которые позволяют построить систему мониторинга, отображающую направление вектора скорости движения выбранной для управления точки прицепа, которая должна быть расположена обязательно впереди (по ходу движения) от неповоротных колес прицепа, и обеспечить водителю возможность управлять поворотом этого вектора с помощью поворота рулевого колеса автомобиля.

Определено, что система мониторинга может быть двух типов:

1. Механическая, в основу построения которой положены свойства датчика «пятое колесо», которая может показывать в движении направление вектора скорости точки, в которой он установлен;

2. Электронная, которая должна осуществлять измерение углов складывания рамы автомобиля с рамами прицепов, вычислять по этим измерениям угол поворота вектора скорости точки в передней части прицепа и отображать полученный результат для водителя.

Список литературы

1. Абдула С. Л. Оцінювання міцності і довговічності несучих систем шарнірно-з'єднаних модульних енергетично-технологічних засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів / С.Л. Абдула, В.М. Краснокутський, В.Г. Кухтов // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. - №1(1). – С. 11-14.
2. Краснокутський В.М. Оцінювання динамічних характеристик модульних енергетично-технологічних засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів / В.М. Краснокутський // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. – №2(2). – С. 107-111.
3. 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.

ло, В.М. Краснокутський, В.В. Кириченко // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – №3(11). – С. 69-73.

4. Васильев Б.Г. Повышение маневренности и мобильности модульных машин аэродромно-технического обеспечения полетов авиации / Б.Г. Васильев // Збірник наукових праць харківського університету повітряних сил. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 1(27). – С. 31-34.

5. Кириченко В.В. Експериментальне визначення динамічних властивостей перспективних засобів рухомості засобів наземного забезпечення дій авіації на базі колісних технологічних та енергетичних модулів та порівняння їх з динамічними властивостями засобів рухомості засобів наземного забезпечення дій авіації, що є на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України в умовах військового аеродрому / В.В.Кириченко, М.А. Подригало, О.Б. Куренко, Д.М. Клець // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 2(31). – С. 34-39.

6. 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.

7. 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.

8. Васильев Б.Г. Основы теории маневренности системы 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.

9. Лобас Л.Г. Неголономные модели колесных экипажей / Л.Г. Лобас. – К.: Наукова думка, 1986. – 231 с.

Поступила в редколлегию 21.12.2012

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

РІШЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ ЗАДАЧ МОДУЛЬНОЇ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ

М.М. Момот, Б.Г. Васильев, Ю.В. Баїстов, Р.В. Гунько, К.В. Койдан

Розглядається модульна концепція перспектив розвитку засобів аеродромно-технічного забезпечення польотів (ЗАТЗП). Наводяться рішення проблемних задач, які дозволяють усі ЗАТЗП побудувати у вигляді двохланкових автопотягів, у яких технологічні модулі виконані у вигляді одновісного чи двовісного причепа приєданого позаду чи попереду армійського автомобілю. Отримані рішення дозволяють за допомогою моніторингу напрямку руху досягти керованості і стійкості руху всіх ланок авто потягу, як уперед так і назад.

Ключові слова: модульна схема ЗАТЗП, технологічний модуль, двохланковий автопотяг, одновісний (двовісний) причеп, рух заднім ходом, керованість, стійкість руху, конфігурація неголономної системи колесного зв'язку, система моніторингу напрямку руху.

THE SOLUTION OF PROBLEMATIC TASKS OF MODULAR CONSTRUCTING ON THE AVIATION FLIGHTS AIRFIELD-TECHNICAL ENSURING ENGINES

M.M. Momot, B.G. Vasilyev, U.V. Baistov, R.V. Gunko, K.V. Koydan

The modular concept prospets of the aviation flights airfield-technical ensuring engines (AFATE) are considering in this article. The solutions of problem tasks, which are presented here, are allowed to remake the whole AFATE in form of two-tier road trains, and their process modules are performed in a form of monoaxial or bi-axial trailers, which is connected behind or ahead of any model of serial army truck. The resulting solutions allow with the help of monitoring system of direction to achieve the controllability and stability of movement of all parts of the road train both forward and backward.

Key words: modular scheme AFATE, process module, power module, two-tier road train, monoaxial(bi-axial) trailer, reverse movement, controllability, steadiness, monitoring system of movement direction, wheel connection non-holonomic system.