

ПОДВИЖНОСТЬ АГРЕГАТОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ АВТОПОЕЗДОВ С АКТИВНЫМ ПРИЦЕПНЫМ ЗВЕНОМ

к.т.н. Бердников А.А.¹, к.п.н. Стрельцов Р.В.², к.т.н. Дюнов В.А.², к.п.н. Зольников И.В.²

¹Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, Балашиха, Россия

²Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Россия
zv_igor@mail.ru

К агрегатам перспективных ракетных комплексов (АПРК) относятся автономные пусковые установки подвижного грунтового ракетного комплекса, транспортно-установочные, заправочные, регламентные и вспомогательные средства технологического оборудования, которые должны обладать оперативно-тактической и стратегической подвижностью. Под оперативно-тактической подвижностью понимается способность АПРК к переходу из одного пункта в другой за определенное время. Стратегическая подвижность характеризуется приспособляемостью АПРК к погрузке и перевозке их другими видами транспорта: железнодорожным, воздушным, водным. В качестве измерителя подвижности принимается средняя скорость движения, которой должны обладать АПРК, чтобы обеспечить своевременность, эффективность и безопасность выполнения поставленных задач, а также возможность выхода из-под влияния поражающих факторов ядерного взрыва, в первую очередь от избыточного давления во фронте ударной взрывной волны. Повысить подвижность АПРК можно путем размещения их на базе автопоездов, однако существующие конструкции агрегатов в составе автопоездов имеют недостатки, снижающие проходимость и, как следствие, среднюю скорость движения. К ним относятся невысокая опорная и геометрическая проходимость. На геометрическую проходимость оказывают влияние конструктивные факторы. Так, например, для автопоезда характерно увеличение габаритной ширины, так как прицепное звено под действием боковых реакций опорной поверхности относительно колеи движения тягача смещается в сторону мгновенного центра поворота. Это смещение вызывает увеличение сопротивления движению на деформируемых грунтах, а следовательно, ухудшение проходимости и снижение ряда других эксплуатационных свойств автопоезда. Повысить подвижность АПРК можно путем размещения их на базе автопоезда с активным прицепным звеном, управления распределением потоков мощности, подводимой к колесам полноприводного автопоезда в зависимости от возможности реализации свободной тяги каждым колесом, изменения положения полюса поворота автопоезда в зависимости от угла поворота рулевого колеса и скорости выполняемого маневра.

Ключевые слова: автопоезд; подвижность; активное прицепное звено; распределение мощности; полюс поворота.

Для цитирования: Бердников А.А., Стрельцов Р.В., Дюнов В.А., Зольников И.В. Подвижность агрегатов перспективных ракетных комплексов на базе автопоездов с активным прицепным звеном // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 3 (45). С. 22–28. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-22-28.

Введение

Высокой подвижностью должны обладать все без исключения наземные транспортные средства, в том числе агрегаты перспективных ракетных комплексов (АПРК). Для автономных пусковых установок (АПУ) подвижного грунтового ракетного комплекса (ПГРК) подвижность определяет ее мобильность, т.е. способность перемещаться, создавая неопределенность своего местонахождения. Тем самым достигается наивысшая скрытность АПУ и обеспечивается высокая ее живучесть. Для агрегатов технологического оборудования, такого как транспортно-установочного, заправочного, регламентного, вспомогательного,

высокая подвижность необходима для своевременного выполнения поставленных задач.

Основная часть

Понятие подвижности является комплексным, т.е. более широким, чем понятие подвижности с точки зрения эксплуатационных свойств.

Так, например, АПРК, к которым отнесем АПУ, транспортно-установочные, заправочные, регламентные и вспомогательные технические средства технологического оборудования должны обладать оперативно-тактической и стратегической подвижностью. В этом случае под оперативно-тактической подвижно-

стью понимается способность АПРК к переходу из одного пункта в другой за определенное время. Стратегическая подвижность характеризуется приспособляемостью АПРК к погрузке и перевозке ее другими видами транспорта: железнодорожным, воздушным, водным. В качестве измерителя подвижности принимается средняя скорость движения АПРК [1]:

$$\Pi = v_{\text{ср}} = \frac{L}{t_{\text{д}} + t_{\text{од}} + t_{\text{то}}}, \quad (1)$$

где Π – подвижность; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения; L – пройденный путь при выполнении задачи; $t_{\text{д}}$ – чистое время движения; $t_{\text{од}}$ – время, необходимое для обеспечения движения (подготовка АПРК к движению; время проведения технического обслуживания и устранения отказов; время восстановления от боевых повреждений; время на инженерную подготовку дорог; время, необходимое для организации преодоления зараженных участков местности и т.п.); $t_{\text{то}}$ – время выполнения технологических операций на пункте назначения для приведения АПРК в готовность к применению по своему назначению.

АПРК должны обладать такой средней скоростью движения, чтобы обеспечить своевременность, эффективность и безопасность выполнения поставленных задач, а также возможность выхода из-под влияния поражающих факторов ядерного взрыва, в первую очередь – от избыточного давления во фронте ударной взрывной волны. Избыточное давление во фронте воздушной ударной волны зависит от расстояния до эпицентра взрыва и рассчитывается [2]:

$$\Delta p_{\text{ф}} = \frac{8,8\sqrt[3]{q}}{R} + \frac{240\sqrt[3]{q^2}}{R^2} + \frac{6 \cdot 10^3 q}{R^3}, \quad (2)$$

где R – расстояние от эпицентра взрыва; q – мощность в тротиловом эквиваленте взрываемого заряда.

Время для выхода из-под удара будет зависеть от времени полета боеголовок баллистических ракет противника до цели. По данным [3] это время – время от начала рассредоточения до момента удара противника при применении межконтинентальных ракет – составляет 17–20 мин, когда дальность полета составляет 6000 км, время – 6 мин.

Расчеты по формуле (2) показывают, что АПРК с защищенностью $\Delta p_{\text{ф}} = 0,03$ МПа должен отойти на расстояние более 3,5 км от эпицентра взрыва (при $q = 0,355$ Мт и $N_{\text{БГ}} =$

1 – количество боеголовок), чтобы сохранить свои функциональные возможности. Для этого АПРК должен перемещаться со средней скоростью 11–37 км/ч с учетом времени 6–20 мин. Для обеспечения требуемой живучести с увеличением количества боеголовок необходимо повышать среднюю скорость движения. Зависимость живучести от количества боеголовок, их мощности и средней скорости движения представляет формула [3]:

$$P_{\text{ж}} = 1 - \frac{(N_{\text{БГ}} - 1)k_{\text{А}}q^{2/3}k_{\text{нс}}}{k_{\text{с}}(v_{\text{ср}}^2 T_{\text{р}}^2 - k_{\text{А}}q^{2/3})}, \quad (3)$$

где $N_{\text{БГ}}$ – количество боеголовок; $k_{\text{А}}$ – коэффициент, учитывающий степень защищенности АПРК; $k_{\text{нс}}$ – коэффициент, учитывающий возможность перекрытия зон взрывов или выхода их за пределы возможного местоположения АПРК вследствие неточного попадания боеголовки; $k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий возможную степень использования площади района рассредоточения; $T_{\text{р}}$ – время от начала рассредоточения до момента удара противника.

Эта средняя скорость должна составлять от 40 до 70 км/ч (рис. 1). Для АПРК, размещенных на базе самоходных колесных шасси с высоким расположением центра масс, либо на автопоездах с неполным приводом колес, низкой маневренностью, управляемостью, устойчивостью и относительно невысокой максимальной скоростью движения 40–45 км/ч такие средние скорости движения недостижимы.

Если обеспечить защищенность АПРК до $\Delta p_{\text{ф}} = 0,2$ МПа, то при $v_{\text{ср}} = 60$ км/ч в течение $T_{\text{р}} = 4$ мин АПРК может выйти из-под удара с допустимой вероятностью живучести $P_{\text{ж}} = 0,3$ (см. рис. 1). Однако повышение защищенности АПРК повышает его массу. Также необходимо отметить, что для достижения требуемой средней скорости движения АПРК его максимальная скорость движения по техническим характеристикам должна быть несколько выше.

Результаты исследования

Анализ агрегатов, характеристики которых имеются в открытой печати, показывает, что на базе автопоездов размещаются такие агрегаты, как например, 15Т284, 15Т145М, 15У79, 15Т246, 15Т414. В качестве АПУ на базе автопоезда можно привести американский опытный образец 1980-х годов стартового комплекса *Midgetman* с электрогидравлической трансмиссией (рис. 2).

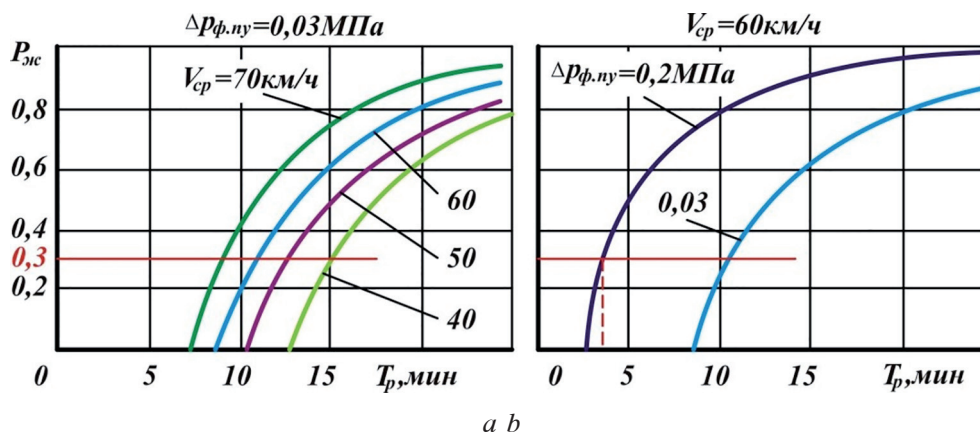


Рис. 1. Зависимость живучести ракетного комплекса:
 a – от времени и скорости рассредоточения; b – от защищенности АПУ



a



b

Рис. 2. Стартовый комплекс Midgetman для ракеты XMGM-134A (США):
 a – общий вид; b – с опущенным полуприцепом

Приведенные выше агрегаты имеют различное конструктивное исполнение трансмиссии, например, транспортно-перегрузочный агрегат 15T284 на каждой колесной паре подкатной тележки имеет тяговый электромотор и все ее 16 колес являются ведущими, однако прицеп является пассивным; транспортно-перегрузочный агрегат 15T145M – из девяти осей имеет восемь осей ведущих и управляемых колес прицепного звена. Стартовый комплекс *Midgetman* имеет семь ведущих осей и две передние оси тягача управляемые.

Однако существующие конструкции агрегатов имеют в основном идентичные недостатки, снижающие проходимость агрегата и, как следствие, среднюю скорость движения:

- невысокая опорная проходимость в виду недостаточной силы тяги по сцеплению при движении по дорогам и местности (вне дорог);
- невысокая геометрическая проходимость, наблюдающаяся в невозможности преодолевать преграды в профиле или плане, т.е. крутых перевалов, поворотов между зданиями или деревьями и т.п.

На опорную проходимость определяющее влияние оказывает коэффициент сцепной массы $k_{сц}$ [4]:

$$k_{сц} = \frac{m_{сц}}{m_A} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m R_{zij}}{m_A g \cos \alpha}, \quad (4)$$

где $m_{сц}$, m_A – соответственно сцепная масса и полная масса АПРК; m – число ведущих осей; R_{zij} – нормальная реакция, действующая на i -е колеса j -й ведущей оси АПРК.

Чем выше коэффициент сцепной массы $k_{сц}$, тем выше проходимость АПРК. Основным конструктивным фактором, влияющим на коэффициент сцепной массы, является колесная формула АПРК. Из формулы (4) видно, что чем больше ведущих колес, тем выше коэффициент. Таким образом, для повышения опорной проходимости необходимо иметь полный привод колес АПРК, при этом коэффициент сцепной массы $k_{сц} = 1$.

Однако с применением полного привода колес возникают проблемы, связанные с эффективным распределением мощности по веду-

щим колесам, т.е. возможностью реализовать свободную тягу каждым колесом. Особенно это важно при распределении крутящего момента на ведущие колеса прицепного звена автопоезда. Поэтому актуальной является научная проблема, связанная с эффективным распределением потоков мощности, подводимой к колесам полноприводного автопоезда в зависимости от возможности реализации свободной тяги каждым колесом.

На геометрическую проходимость АПРК в составе автопоезда оказывают влияние конструктивные факторы. Так, например, для автопоезда характерно увеличение габаритной ширины, т.к. прицепное звено под действием боковых реакций опорной поверхности относительно колеи движения тягача смещается в сторону мгновенного центра поворота O (рис. 3, *a*). Это смещение вызывает увеличение сопротивления движению на деформируемых грунтах, а следовательно, ухудшение проходимости и топливной экономичности; увеличение износа шин и нагрузок на детали подвески и рамы, а значит, уменьшение надежности и долговечности конструкций прицепного звена. Исключения рассмотренного смещения и уменьшения габаритной полосы можно достичь путем применения всеколесного управления автопоезда.

Всёколесное управление позволяет уменьшить радиус поворота и габаритный коридор автопоезда (рис. 3, *b*), снизить затраты мощности двигателя на повороты с малыми радиусами за счет того, что все колеса автопоезда повернуты согласно необходимой кинематике, при этом боковой увод шин отсутствует, как и проскальзывание в месте контакта протектора с дорогой [5]. Однако исследования показывают, что при таком повороте наблюдается низкая устойчивость движения, особенно при переходных процессах. Актуальной становится научная проблема, связанная с разработкой закона управления с изменяющимся полюсом поворота в зависимости от угла поворота рулевого колеса, позволяющего повысить управляемость и устойчивость при повышении скорости выполняемого маневра АПРК на базе автопоезда с активным прицепным звеном [6]. Например, для тягача с колесной формулой 8Ч8 величина смещения полюса поворота будет рассчитываться по представленной формуле [7]:

$$X_p = \frac{L}{2} \cdot \left[\frac{\Theta_p - \Theta_{\text{зап}}}{\Theta_{\text{max}} - \Theta_{\text{зап}}} \right]^n, \quad (5)$$

где X_p – величина смещения полюса поворота по базе тягача; L – база тягача; Θ_p – угол поворота рулевого колеса; $\Theta_{\text{зап}}$ – угол запаздывания

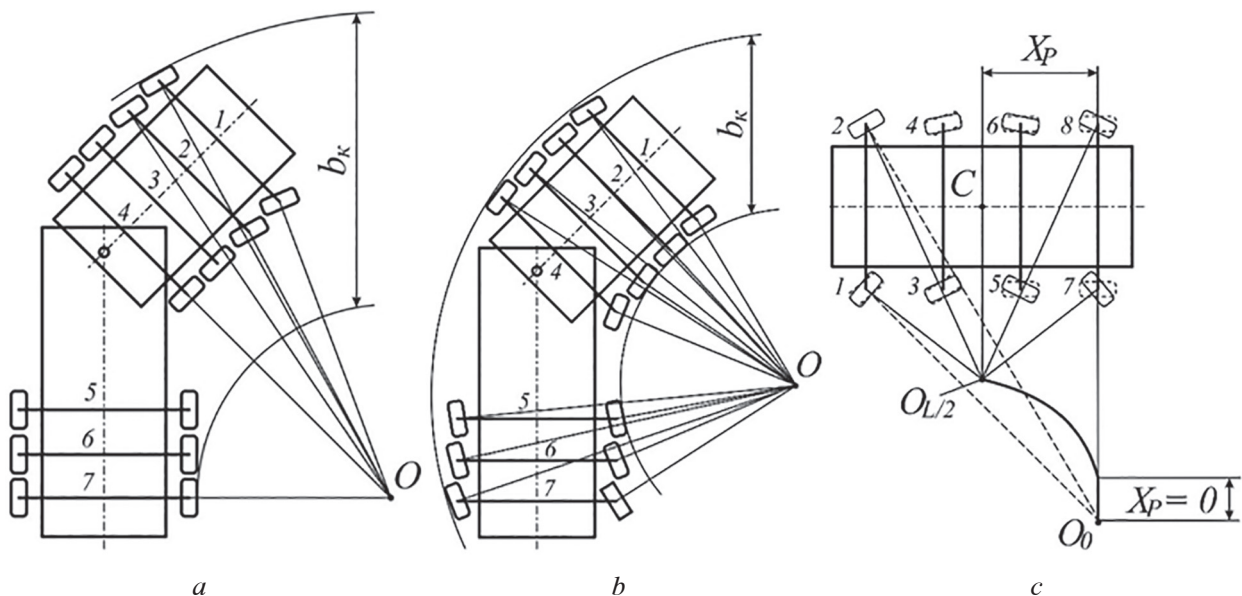


Рис. 3. Поворот автопоезда:

a – с двумя передними управляемыми осями; *b* – с всеколесным управлением;
c – с изменяющимся полюсом поворота; b_k – габаритная ширина; O – мгновенный центр поворота (O_0 – относительно задней оси, $O_{L/2}$ – относительно центра базы тягача); C – центр базы тягача;
 X_p – величина смещения полюса поворота; 1–8 – номер оси (колеса)

поворота колес задних осей; $\Theta_{\max}$ – максимальный угол поворота задающего колеса; n – показатель, определяющий вид кривой изменения положения полюса рулевого управления

Данный закон управления учитывает угол запаздывания поворота колес задней и средней управляемых осей на высоких скоростях движения с целью исключения их заноса при совершении маневра.

Выводы

Таким образом, повысить подвижность АПРК, можно путем:

- размещения АПРК на базе автопоезда с активным прицепным звеном;
- управления распределением потоков мощности, подводимой к колесам полноприводного автопоезда в зависимости от возможности реализации свободной тяги каждым колесом;
- изменения положения полюса поворота автопоезда в зависимости от угла поворота рулевого колеса и скорости выполняемого маневра.

Литература

1. Степанченко Э.П., Фалалеев П.П. Технологическое оборудование: основы конструкции и расчета базовых машин. Под общ. ред. П.П. Фалалеева. М.: МО СССР, 1986. С. 18–26.
2. Чикалов Н.В., Дерюшев В.В. Пусковые установки и командные пункты ракетных комплексов: учеб. пособие. МО РФ, 2018. С. 49–52.
3. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». Машиностроение, 1989. С. 122–124.
4. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет. Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. С. 14–26.
5. Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Жеглов Л.Ф. и др. Проектирование полноприводных колесных машин: учебник для вузов в 3 т. Т. 3. Под ред. А.А. Полунгяна. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. С. 14–17.
6. Горелов В.А. Научные методы повышения безопасности и энергоэффективности движения многоосных колесных транспортных комплексов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03. М., 2012. С. 225–230.

Reference

1. Stepanchenko E.P., Falaleyev P.P. *Tekhnologicheskoye oborudovaniye: osnovy konstruktssii i rascheta bazovykh mashin* [Technological equipment: basics of design and calculation of basic machinery]. Pod obshch. red. P.P. Falaleyeva. Moscow: MO SSSR Publ., 1986, pp. 18–26.
2. Chikalov N.V., Deryushev V.V. *Puskovyye ustanovki i komandnyye punkty raketnykh kompleksov* [Launchers and command posts of missile complexes: textbook]: ucheb. posobiye. MO RF Publ., 2018, pp. 49–52.
3. Litvinov A.S., Farobin Ya.E. *Avtomobil': teoriya ekspluatatsionnykh svoystv: uchebnik dlya vuzov po spetsial'nosti «Avtomobili i avtomobil'noye khozyaystvo»* [Automobile: theory of operational properties: a textbook for universities in the specialty "Automobiles and Automotive Industry"]. Mashinostroyeniye Publ., 1989, pp. 122–124.
4. Belousov B.N., Popov S.D. *Kolesnyye transportnyye sredstva osobo bol'shoy gruzopod'yemnosti. Konstruktsiya. Teoriya. Raschet* [Wheeled vehicles of extra heavy carrying capacity. Design. Theory. Calculation]. Pod obshch. red. B.N. Belousova. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2006, pp. 14–26.
5. Afanas'yev B.A., Belousov B.N., Zheglov L.F. i dr. *Proyektirovaniye polnoprivodnykh kolesnykh mashin* [Design of all-wheel drive vehicles]: uchebnik dlya vuzov v 3 t. Vol. 3. Pod red. A.A. Polungyana. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2008, pp. 14–17.
6. Gorelov V.A. *Nauchnyye metody povysheniya bezopasnosti i energoeffektivnosti dvizheniya mnogoosnykh kolesnykh transportnykh kompleksov* : dis. ... d-ra tekhn. nauk [Scientific methods of increasing the safety and energy efficiency of the movement of multi-axle wheeled transport complexes: Dissertation for the Degree of Doctor (Engineering)]: 05.05.03. Moscow, 2012, pp. 225–230.

MOBILITY OF AGGREGATES OF PROMISING MISSILE SYSTEMS BASED ON ROAD TRAINS WITH AN ACTIVE TRAILED LINK

PhD in Engineering **A.A. Berdnikov**¹, PhD in Pedagogical **R.V. Strel'tsov**²,
PhD in Engineering **V.A. Dyunov**², PhD in Pedagogical **I.V. Zol'nikov**²

¹Peter the Great Military Academy of the Strategic Missile Forces, Balashikha, Russia

²Perm Military Institute of the Internal Troops of the Ministry of the Interior of the Russian Federation, Perm, Russia
zv_igor@mail.ru

The aggregates of advanced missile systems (AAMS) include autonomous launchers of a mobile ground missile complex, transport-and-installation, refueling, maintenance and auxiliary technical means of technological equipment, which must have operational, tactical and strategic mobility. Operational and tactical mobility is understood as the ability of the AAMS to move from one point to another in a certain time. Strategic mobility is characterized by the adaptability of the AAMS to its loading and transporting by other types of transport, including rail, air, water. The average speed of movement is taken as a measure of mobility, which should be developed by AAMS in order to ensure the timeliness, efficiency and safety of performing the assigned tasks, as well as the possibility of getting out of the influence of the damaging factors of a nuclear explosion, primarily from excess pressure in the front of the shock blast wave. It is possible to increase the mobility of the AAMS by locating it on the basis of road trains, however, the existing designs of aggregates of road trains have disadvantages that reduce the flotation and, as a result, the average speed of movement, these include low support and geometric flotation. The geometric flotation is influenced by design factors. For example, an increase in overall width is typical for a road train, as the trailing link under the influence of lateral reactions of the supporting surface relative to the tractor track is shifted towards the instantaneous turning center. This displacement causes an increase in resistance to movement on deformable soils, and, consequently, a deterioration in flotation and a decrease in a number of other operational properties of the road train. It is possible to increase the mobility of the AAMS by placing them on the basis of a road train with an active trailed link, controlling the distribution of power flows supplied to the wheels of an all-wheel drive road train depending on the possibility of realizing free traction by each wheel, changing the position of the road train center of inflexions depending on the steering wheel angle and maneuver.

Keywords: road train, mobility, active trailing link, power distribution, center of inflexions.

Cite as: Berdnikov A.A., Strel'tsov R.V., Dyunov V.A., Zol'nikov I.V. Mobility of aggregates of promising missile systems based on road trains with an active trailed link. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020. No 3 (45), pp. 22–28 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-22-28.