

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 629.1.02

DOI 10.18698/0536-1044-2017-11-36-41

Разработка принципов повышения маневренности длиннобазных многоосных автопоездов с полуприцепами

М.М. Жилейкин¹, М.Т. Лычкин²¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1² Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» «КБ «Мотор», 123100, Москва, Российская Федерация, ул. Сергея Makeева, д. 7

Developing Guidelines for Enhancing Maneuverability of Long-Wheelbase Multi-Axle Road Trains with Semi-Trailers

М.М. Zhileykin¹, М.Т. Lychkin²¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1² Design Bureau «Motor», Branch of the Federal State Unitary Enterprise — Centre for Ground-Based Space Infrastructure Operation (TsENKI), 123100, Moscow, Russian Federation, Sergeya Makeeva St., Bldg. 7 e-mail: jileykin_m@mail.ru, mu0n@mail.ru

i Широкое распространение многозвенных транспортных средств (автопоездов с прицепами и полуприцепами) связано с потребностью в перевозке тяжелых крупногабаритных грузов и необходимостью достижения малого удельного давления на опорную поверхность при повышении грузоподъемности и скорости движения подвижного состава. Эффективность такого автомобильного транспорта зависит от совокупности его свойств, которые проявляются в процессе работы и определяют возможность его применения в заданных эксплуатационных условиях. Одним из важнейших свойств автопоезда является маневренность, т. е. способность выполнять повороты со значениями радиуса кривизны и ширины габаритного коридора, обусловленными геометрическими характеристиками дорог общего пользования. В целях повышения маневренности длиннобазных многоосных автопоездов выполнена оптимизация их основных геометрических параметров на стадии проектирования. Методами теории функционального анализа установлено, что для обеспечения минимальной ширины габаритного коридора при совершении маневра длиннобазным многоосным автопоездом (имеющим всеколесное рулевое управление) с полуприцепом необходимо соблюдать два условия: центр задней оси полуприцепа должен перемещаться по траектории движения точки сцепки при поддержании максимального угла поворота внутреннего (по отношению к направлению поворота) управляемого колеса; вертикальная ось седельно-сцепного устройства должна проходить через полюс поворота на продольной оси тягача.

Ключевые слова: длиннобазные многоосные автопоезда, оптимизация геометрических параметров, показатели маневренности, ширина габаритного коридора

i The wide use of combination vehicles (road trains with trailers and semi-trailers) is driven by the need to transport heavy bulky cargo, while ensuring small specific pressure on support surface when the loading capacity and the travel speed of the vehicle increase. The efficiency of this type of transport depends on a combination of its properties that become apparent during operation. They determine the suitability of these vehicles for use in specified operating conditions. One of the most important properties of a road train is agility, i.e. the ability to make turns with a radius of curvature and overall width of the corridor determined by geometric characteristics of public-access roads. The aim of this work is to optimize the main geometrical parameters of long wheelbase multi-axle trucks at the design stage to increase vehicles' maneuverability. Using the theory of functional analysis, it is established that to ensure the minimum value of the overall corridor when maneuvering, a long-wheelbase multi-axle road train having a semitrailer with all-wheel steering should meet two conditions. Firstly, the center of the rear axle of the semitrailer should move along the trajectory of the attachment point, while maintaining the maximum rotation angle of the internal (relative to the direction of rotation) driven wheel. Secondly, the vertical axis of the fifth-wheel coupling should pass through the pole of rotation on the longitudinal axis of the tractor.

Keywords: long wheelbase multi-axle road trains, optimization of the geometrical parameters, performance agility, overall width of the corridor

Многосвязные транспортные средства — автопоезда с прицепами и полуприцепами — получили широкое распространение в структуре перевозок вследствие потребности в транспортировании тяжелых неделимых крупногабаритных грузов и необходимости достижения малого удельного давления на опорную поверхность при повышении грузоподъемности и рабочей скорости движения таких машин [1–4].

Эффективность подвижного состава автомобильного транспорта зависит от совокупности его свойств, которые проявляются в процессе работы и определяют его пригодность к применению в заданных эксплуатационных условиях. Одним из важнейших свойств автопоезда является маневренность, т. е. способность выполнять повороты со значениями радиуса кривизны и ширины габаритного коридора движения, обусловленными геометрическими характеристиками дорог общего пользования [3, 5]. Решение задачи повышения маневренности длиннобазных многоосных автопоездов (ДМА) достигается двумя основными способами:

- использованием всеколесного рулевого управления как для тягача, так и для полуприцепа с разработкой соответствующих алгоритмов работы системы управления поворотом управляемых колес;

- оптимизацией на стадии проектирования основных геометрических параметров ДМА, непосредственно влияющих на показатели ма-

невренности, — минимального радиуса поворота и ширину габаритного коридора.

Проблемам анализа маневренности и управляемости при проектировании ДМА, а также автоматизации работы приводов всеколесного рулевого управления посвящены многие работы российских и зарубежных ученых [6–11]. Однако в них не рассмотрены вопросы оптимизации на стадии проектирования основных геометрических параметров ДМА, что является актуальной задачей.

Цель работы — оптимизация на стадии проектирования основных геометрических параметров ДМА для повышения их маневренности.

Исходные соотношения. Основными геометрическими параметрами, непосредственно влияющими на показатели маневренности, являются (см. рисунок):

- положение полюса поворота полуприцепа P_n на его продольной оси;
- расстояние $l_{сц}$ от вертикальной оси седельно-сцепного устройства до полюса поворота тягача P_T на его продольной оси;
- предельные углы поворота колес полуприцепа.

Ширина габаритного коридора B — это разность между максимальным R_1 и минимальным R радиусами поворота:

$$B = R_1 - R. \quad (1)$$

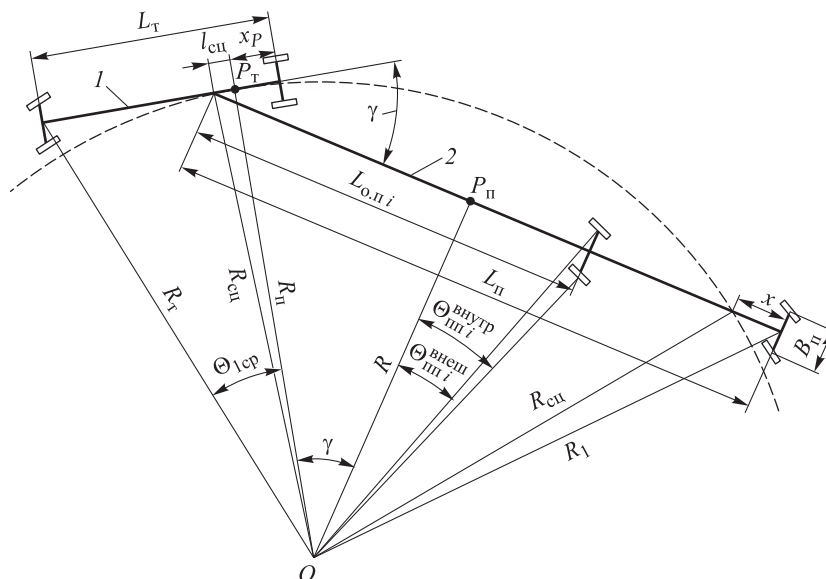


Схема поворота ДМА с многоосным полуприцепом:

I и *2* — продольные оси тягача и полуприцепа; L_T и $L_П$ — колесные базы тягача и полуприцепа; $L_{о.п.i}$ — расстояние от точки сцепки до *i*-й оси полуприцепа; O — центр поворота; x_P — расстояние от задней оси тягача до полюса поворота; $R_{сц}$ — радиус поворота точки сцепки; $R_П$ — радиус поворота тягача; γ — угол складывания; $\Theta_{1ср}$ — средний угол поворота управляемых колес первой оси тягача; $\Theta_{п.п.i}^{внутр}$ и $\Theta_{п.п.i}^{внеш}$ — углы поворота внутреннего и внешнего (по отношению к направлению поворота) управляемых колес *i*-й оси полуприцепа; x — расстояние от задней оси тягача до точки пересечения его продольной оси с окружностью радиуса $R_{сц}$; $B_П$ — колея полуприцепа

Для расчета ширины габаритного коридора *B* необходимы следующие геометрические соотношения:

$$R_П = \frac{L_T - x_P}{\text{tg } \Theta_{1ср}}$$

$$R_{сц} = \sqrt{R_П^2 + l_{сц}^2};$$

$$R = \sqrt{R_{сц}^2 + \left[\frac{L_П - x}{2}\right]^2} = \sqrt{R_П^2 + l_{сц}^2 - \left[\frac{L_П - x}{2}\right]^2};$$

$$R_1 = \sqrt{R^2 + \left[\frac{L_П - x}{2}\right]^2} = \sqrt{R_П^2 + l_{сц}^2 + L_П x}.$$

Определение положения полюса поворота на продольной оси полуприцепа. Для нахождения оптимального значения $x_{опт}$, при котором выражение (1) имеет минимальное значение, запишем уравнение

$$\frac{dB}{dx} = \frac{L_П - x}{\sqrt{4R_П^2 + 4l_{сц}^2 - (L_П - x)^2}} - \frac{L_П}{\sqrt{R_П^2 + l_{сц}^2 + L_П x}} = 0.$$

Нетрудно заметить, что в диапазоне

$$0 \leq x \leq \frac{L_П}{2} \tag{2}$$

производная $dB/dx > 0$, т. е. не имеет точек перегиба. Это свидетельствует о том, что функция (1) является монотонно возрастающей и имеет минимум на левой границе интервала (2), т. е. $x = 0$.

Однако на практике реализовать движение центра задней оси полуприцепа по траектории движения точки сцепки не всегда удается, так как при этом требуемый угол поворота внутреннего управляемого колеса задней оси полуприцепа может превысить допустимое значение $\Theta_{п.п.i}^{внутр}$. Тогда значение x можно получить из выражения

$$\text{tg } \Theta_{п.п.i}^{внутр} = \frac{\frac{L_П - x}{2} + x}{R - 0,5B_П} = \frac{L_П + x}{2\sqrt{R_{п.п.i}^2 + l_{сц}^2 - [(L_П - x)/2]^2} - B_П},$$

где $R_{п.п.i}$ — минимальный радиус поворота автопоезда.

Формулы для определения углов поворота внешнего и внутреннего управляемых колес полуприцепа имеют вид:

$$\operatorname{tg} \Theta_{\text{пп}i}^{\text{внеш}} = \frac{\left(L_{\text{о.п}i} - \frac{L_{\text{п}} + x}{2} \right)}{R + 0,5B_{\text{п}}} \operatorname{sign} \left(L_{\text{о.п}i} - \frac{L_{\text{п}} + x}{2} \right);$$

$$\operatorname{tg} \Theta_{\text{пп}i}^{\text{внутр}} = \frac{\left(L_{\text{о.п}i} - \frac{L_{\text{п}} + x}{2} \right)}{R - 0,5B_{\text{п}}} \operatorname{sign} \left(L_{\text{о.п}i} - \frac{L_{\text{п}} + x}{2} \right).$$

Определение оптимального положения вертикальной оси седельно-сцепного устройства относительно полюса поворота тягача. Оптимальное значение $l_{\text{сц}}$ с точки зрения обеспечения минимального значения ширины габаритного коридора (1) при маневрировании ДМА найдем, исследовав функцию

$$\frac{dB}{dl_{\text{сц}}} = \frac{2l_{\text{сц}}}{\sqrt{R_{\text{п}}^2 + l_{\text{сц}}^2 + L_{\text{п}}x}} - \frac{2l_{\text{сц}}}{\sqrt{R_{\text{пmin}}^2 + l_{\text{сц}}^2 - [(L_{\text{п}} - x)/2]^2}} = 0. \quad (3)$$

Корнем уравнения (3) является $l_{\text{сц}} = 0$. При этом

$$\text{если } l_{\text{сц}} > 0, \text{ то } \frac{dB}{dl_{\text{сц}}} < 0;$$

$$\text{если } l_{\text{сц}} < 0, \text{ то } \frac{dB}{dl_{\text{сц}}} > 0.$$

Следовательно, при $l_{\text{сц}} = 0$ функция (1) имеет минимальное значение.

Вывод

Методами теории функционального анализа установлено, что для обеспечения минимального радиуса поворота при совершении маневра длиннобазным многоосным автопоездом (имеющим всеколесное рулевое управление) с полуприцепом необходимо соблюдать два условия:

- центр задней оси полуприцепа должен перемещаться по траектории движения точки сцепки при поддержании максимального угла поворота внутреннего управляемого колеса;
- вертикальная ось седельно-сцепного устройства должна проходить через полюс поворота на продольной оси тягача.

При уменьшении радиуса поворота ширина габаритного коридора увеличивается незначительно.

Литература

- [1] Гладов Г.И., Петренко А.М. *Специальные транспортные средства*. Москва, ИКЦ «Академкнига», 2006. 215 с.
- [2] Гладов Г.И., Морозова А.Ю. *Системы управления поворотом специальных транспортных средств*. Москва, МАДИ (ГТУ), 2004. 88 с.
- [3] Закин Я.Х. *Маневренность автомобиля и автопоезда*. Москва, Транспорт, 1986. 136 с.
- [4] Белоусов Б.Н., Попов С.Д. *Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 728 с.
- [5] Елугачев П.А., Катасонов М.А., Елугачев М.А. Обоснование ширины и количества полос движения на кольцевых пересечениях автомобильных дорог. *САПР и ГИС автомобильных дорог*, 2013, № 1, с. 24–28.
- [6] Иванина Н.Л., Головченко В.И. Автоматизированный расчет и построение габаритной полосы движения длиннобазных седельных автопоездов при их поворотах на 90° и 180°. *Вісник НТУ «ХПІ»*, 2013, № 1(975), с. 48–64. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2586> (дата обращения 15 марта 2017).
- [7] Горелов В.А., Тропин С.Л. Математическая модель криволинейного движения автопоезда по недеформируемому опорному основанию. *Журнал Автомобильных Инженеров*, 2011, № 5(70), с. 18–22.
- [8] Греков В.Ф., Орлов С.В., Пьянков А.А., Ткаченко Ю.А. Влияние конструктивно-компоновочных схем транспортных средств на их маневренность. *Системи обробки інформації*, 2008, № 3(70), с. 34–38.
- [9] Нарядовый Д.И., Позин Б.М., Трояновская И.П. О задаче стационарного поворота автопоездов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Машиностроение*, 2005, № 14(54), с. 97–99.

- [10] Cheng S., Cebon D. Improving roll stability of articulated heavy vehicles using active semi-trailer steering. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2008, vol. 46, is. suppl. 1, pp. 373–388.
- [11] Fletcher C., Manzie C., Good M. Trailer Steering: An Australian Research Perspective and Application By-Wire Control. *Technical report, Ninth International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions*, June 18–22, 2006, Penn State, State College, Pennsylvania, 2006.

References

- [1] Gladov G.I., Petrenko A.M. *Spetsial'nye transportnye sredstva* [Special vehicles]. Moscow, Akademkniga publ., 2006. 215 p.
- [2] Gladov G.I., Morozova A.Iu. *Sistemy upravleniia povorotom spetsial'nykh transportnykh sredstv* [System steering special vehicles]. Moscow, MADI (GTU) publ., 2004. 88 p.
- [3] Zakin Ia.Kh. *Manevrennost' avtomobilia i avtopoezda* [The maneuverability of the vehicle and road train]. Moscow, Transport publ., 1986. 136 p.
- [4] Belousov B.N., Popov S.D. *Kolesnye transportnye sredstva osobo bol'shoi gruzopod'emnosti. Konstruktsiia. Teoriia. Raschet* [Wheeled vehicles especially heavy duty vehicles. Design. Theory. Calculation]. Moscow, Bauman Press, 2006. 728 p.
- [5] Elugachev P.A., Katasonov M.A., Elugachev M.A. Obosnovanie shiriny i kolichestva polos dvizheniia na kol'tsevykh peresecheniakh avtomobil'nykh dorog [The justification of width and number of lanes on ring roads intersection]. *SAPR i GIS avtomobil'nykh dorog* [CAD and GIS roads]. 2013, no. 1, pp. 24–28.
- [6] Ivanina N.L., Golovchenko V.I. Avtomatizirovannyi raschet i postroenie gabaritnoi polosy dvizheniia dlinnobaznykh sedel'nykh avtopoezdov pri ikh povorotakh na 90° i 180° [Automated calculation and plotting of the marker lane long semi-trucks when they are turning 90° and 180°]. *Visnik NTU «KhPI»* [Herald of NTU «KHPI»]. 2013, no. 1(975), pp. 48–64. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2586> (accessed 15 Mach 2017).
- [7] Gorelov V.A., Tropin S.L. Matematicheskaia model' krivolineinogo dvizheniia avtopoezda po nedeformiruemu opornomu osnovaniuu [A mathematical model of curvilinear motion of road train on a rigid supporting base]. *Zhurnal Avtomobil'nykh Inzhenerov* [The Journal of Automotive Engineers]. 2011, no. 5(70), pp. 18–22.
- [8] Grekov V.F., Orlov S.V., P'iankov A.A., Tkachenko Iu.A. Vliianie konstruktivno-komponovochnykh skhem transportnykh sredstv na ikh manevrennost' [Influence of design-layout charts of transport vehicles on their manoeuvrability]. *Sistemi obrobki informatsii* [Information Processing Systems]. 2008, no. 3(70), pp. 34–38.
- [9] Naradovyi D.I., Pozin B.M., Troianovskaia I.P. O zadache statsionarnogo povorota avtopoezdov [About the task of turning stationary trains]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Mashinostroenie* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical engineering]. 2005, no. 14, is. 54, pp. 97–99.
- [10] Cheng S., Cebon D. Improving roll stability of articulated heavy vehicles using active semi-trailer steering. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 2008, vol. 46, is. suppl. 1, pp. 373–388.
- [11] Fletcher C., Manzie C., Good M. Trailer Steering: An Australian Research Perspective and Application By-Wire Control. *Technical report, Ninth International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions*, June 18–22, 2006, Penn State, State College, Pennsylvania, 2006.

Информация об авторах

ЖИЛЕЙКИН Михаил Михайлович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные машины». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: jileykin_m@mail.ru).

ЛЫЧКИН Максим Тимофеевич (Москва) — инженер-конструктор третьей категории. Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» «КБ «Мотор» (123100, Москва, Российская Федерация, ул. Сергея Makeева, д. 7, e-mail: mu0n@mail.ru).

Information about the authors

ZHILEYKIN Mikhail Mikhailovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Wheeled Vehicles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: jileykin_m@mail.ru).

LYCHKIN Maksim Timofeevitch (Moscow) — Design Engineer of the 3rd Category. Design Bureau 'Motor', Branch of the Federal State Unitary Enterprise — Centre for Ground-Based Space Infrastructure Operation (TsENKI) (123100, Moscow, Russian Federation, Sergeya Makeeva St., Bldg. 7, e-mail: mu0n@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография
С.Ф. Боева

«Управление рисками проектирования и создания радиолокационных станций дальнего обнаружения»

Освещены актуальные вопросы создания мощных высокоинформативных радиолокационных станций дальнего обнаружения. В качестве ключевой проблемы создания радиолокационных станций в условиях ограничения всех видов ресурсного обеспечения рассмотрена проблема управления рисками, описаны вопросы создания модели рисков радиолокационных станций дальнего обнаружения, формирования платформенных аппаратно-программных решений, инструментов автоматизации и максимальной информатизации управления созданием станций дальнего обнаружения, а также применения стенда Генерального конструктора при оценке и отработке тактико-технических характеристик изделия. Предлагаемые решения основаны на опыте Концерна «РТИ» по созданию радиолокационных станций, решающих задачи информационного обеспечения системы стратегического сдерживания.

Для широкого круга специалистов в области разработки и создания больших радиоинформационных систем, аспирантов, студентов и преподавателей технических вузов, а также для читателей, интересующихся техническими и научными вопросами создания сложных технических и радиоинформационных систем и комплексов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru