

6. Ламси Б. Б. Сборник задач и упражнений по динамике стержневых систем: Учеб. пособие / Б. Б. Ламси и др. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. – 96 с.
7. Довнар Е. П. Расчет рам на статические и динамические нагрузки: Учеб. пособие / Е. П. Довнар, Л. Б. Климова. – Минск: БНТУ, 2004. – 186 с.
8. Поляков А. А. Строительная механика: Учеб. пособие / А. А. Поляков, Ф. Г. Лялина, Р. Г. Игнатов. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 424 с.
9. Гайджуров П. П. Расчет стержневых систем на устойчивость и колебания: Учеб. пособие / П. П. Гайджуров. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. – 195 с.
10. Кочетов В. Т. Сопротивление материалов: Учеб. пособие / В. Т. Кочетов. – Ростов-на-Дону, Феникс, 2001. – 368 с.
11. Кутовий Л. В. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу "Опір матеріалів" (для студентів всіх механічних спеціальностей денної форми навчання) / Л. В. Кутовий та ін. – Краматорськ ДДМА, 2007. – 220 с.
12. Старцева Л. В. Строительная механика в примерах и задачах: Учеб. пособие / Л. В. Стацева, В. Г. Архипов, А. А. Семенов. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 224 с.
13. Холодняк Ю. С. Особенности прочностных расчетов стержневых конструкций, подверженных вынужденным колебаниям / Ю. С. Холодняк, А. В. Периг, И. А. Матвеев. – Краматорськ: Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. №1(34), 2015. – С.96-102.
14. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15: Учебный курс / Е. Г. Макаров. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.
15. Макаров Е. Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad / Е. Г. Макаров. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.

УДК 629.015:625.72

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

К.М. Бас¹, Т.П. Бас², В.В. Швайка³

¹кандидат технических наук, профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: bas.k.m@nmu.one

²аспирант кафедры технологий горного машиностроения, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: bastp2017@gmail.com

³аспирант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина, e-mail: shvayka.92@mail.ru

Аннотация. Траектория движения беспилотных автомобилей и их производительность определяются технологическими процессами. В работе рассматривается вопрос нахождения кривизны и кручения автомобильной дороги, позволяющей реализовать заданную траекторию движения.

Ключевые слова: орты натурального триэдра, кривизна, кручение, программная трасса, годограф.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF AUTOMOBILE ROADS FOR THE SPATIAL MOVEMENT OF UNCLEAR VEHICLES

Konstantin Bas¹, Tatiana Bas², Vladimir Shvaika³

¹Ph.D., Professor of the Department of Automobiles and Automobile Economy, National Technical University 'Dnipro Polytechnic', Dnipro, Ukraine, e-mail: bas.k.m@nmu.one

²Postgraduate student of the Department of Technology of Mining Engineering, National Technical University 'Dnipro Polytechnic', Dnipro, Ukraine, e-mail: bastp2017@gmail.com

³ Postgraduate student of the Department of Automobiles and Automobile Economy, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: e-mail: shvayka.92@mail.ru

Abstract. The trajectory of the movement of unmanned vehicles and their performance are determined by technological processes. The question of finding the curvature and torsion of a road that allows one to realize a given trajectory is considered.

Keywords: orsts of a natural trihedr, curvature, torsion, program line, hodograph.

Введение. В настоящее время беспилотные автомобили широко используются для обеспечения технологических перевозок на ограниченных производственных площадях с максимально комфортными условиями. Уже осуществлен запуск опытных моделей беспилотных автомобилей на дороги общего пользования [1]. Но отдельно стоит вопрос о расширении использования беспилотных автомобилей промышленными предприятиями, дороги которых, изменяя положение транспортного средства в пространстве, регулярно перестраиваются в зависимости от производственной необходимости. Построение адекватной этой задаче математической модели, адаптированной к компьютерным технологиям, составляет актуальную общую проблему прикладной механики и математики [2, 3].

Цель работы. Создание алгоритма определения кривизны и кручения автомобильной дороги, обеспечивающей пространственное движение беспилотного автомобиля по заданному годографу.

Материалы и результаты исследований. Внутривозовские и внутриквартальные автомобильные дороги являются частью схемы технологических транспортных коммуникаций по обслуживанию производственного процесса предприятия и характеризуются специфическими условиями эксплуатации и особенностями конструкции.

Схемы, трассы и устройство карьерных автодорог определяются горнотехническими условиями разработки месторождения, направлением

и расстоянием транспортировки вскрышных пород, полезного ископаемого и объемом перевозок.

Рассмотрим движение автомобилей по серпантину.

Граничные условия для этой схемы:

$$t = 0, t = t_k, \quad (1)$$

$$\bar{r}_A = \bar{i}r_{1A} + \bar{k}r_{3A}, \bar{r}_B = \bar{j}r_{2B} + \bar{k}r_{3B}, \quad (2)$$

$$\bar{V}_A = \bar{i}V_{1A} + \bar{j}V_{2A} + \bar{k}V_{3A}, \bar{V}_B = -\bar{i}V_{1B} + \bar{j}V_{2B} + \bar{k}V_{3B} \quad (3)$$

Полагаем, что $\omega t_k = \frac{\pi}{2}$, т.е. поворот осуществляется на прямой угол.

Тогда годограф движения автомобиля на подъем ($r_{3B} - r_{3A} > 0$) и повороте на заданный угол ($\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$) по пространственной магистрали имеет вид:

$$\bar{r}(t) = \left\| \begin{matrix} 1 \\ \rho_0 \\ \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} 1 \\ t \\ t^2 \\ t^3 \end{matrix} \right\| (\bar{i} \cos(\omega t) + \bar{j} \sin(\omega t)) + \left\| \begin{matrix} 1 \\ h_0 \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{matrix} \right\| \left\| \begin{matrix} 1 \\ t \\ t^2 \\ t^3 \end{matrix} \right\| \bar{k}. \quad (4)$$

Компоненты радиус-вектора $\bar{r}(t)$ программного движения записываются в виде:

$$r_1(t) = (\rho_0 + \rho_1 t + \rho_2 t^2 + \rho_3 t^3) \cos(\omega t), \quad (5)$$

$$r_2(t) = (\rho_0 + \rho_1 t + \rho_2 t^2 + \rho_3 t^3) \sin(\omega t), \quad (6)$$

$$r_3(t) = h_0 + h_1 t + h_2 t^2 + h_3 t^3. \quad (7)$$

Рассмотрим поворот с подъемом при следующих начальных условиях:

$r_{1A} = 100\text{ м}$, $r_{2A} = 0\text{ м}$, $r_{3A} = 0\text{ м}$, $r_{1B} = 0\text{ м}$, $r_{2B} = 200\text{ м}$, $r_{3B} = 20\text{ м}$, $V_{1A} = 0\text{ м/с}$, $V_{2A} = 36\text{ м/с}$, $V_{3A} = 0\text{ м/с}$, $V_{1B} = -36\text{ м/с}$, $V_{2B} = 0\text{ м/с}$, $V_{3B} = 0\text{ м/с}$, $\varphi_0 = 90^\circ$. Соответственно получаем, что: $\rho_0 = 100$, $\rho_1 = 0$, $\rho_2 = 0$, $\rho_3 = 0$; $h_0 = 0$, $h_1 = 0$, $h_2 = 3.152$, $h_3 = -0.482$.

Кривизна автомагистрали по заданному годографу движения и кручение автомагистрали по заданному годографу движения показаны соответственно на рисунках 1 и 2.

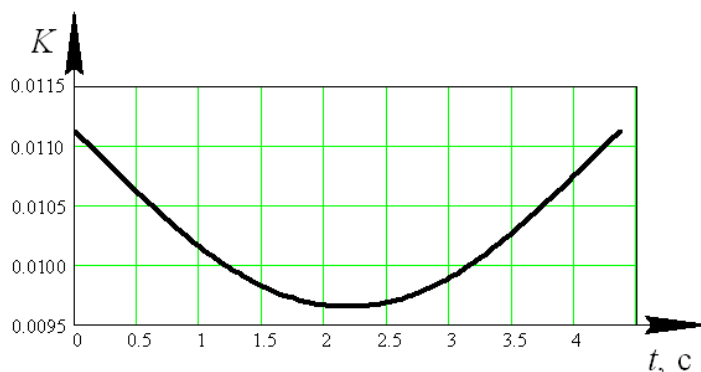


Рисунок 1 - Кривизна автомагистрали по заданному годографу движения

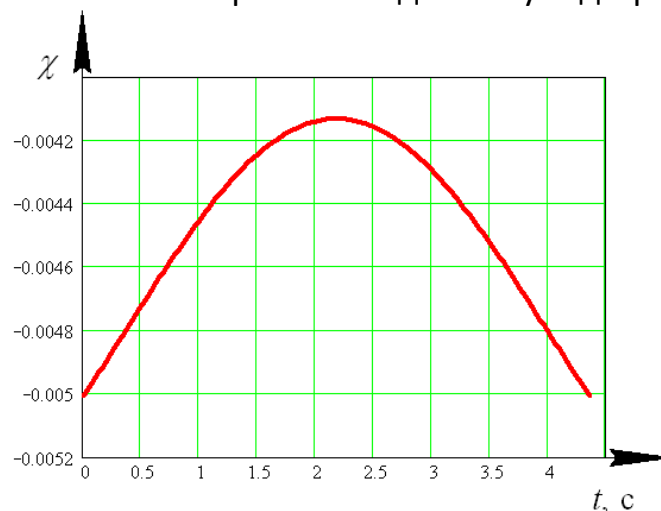


Рисунок 2 - Кручение автомагистрали по заданному годографу движения

Вывод. Для обеспечения движения беспилотного автомобиля в условиях карьера определены кривизна и кручение программной трассы в зависимости от заданной траектории движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tasha Keeney (2017), Mobility-As-A-Service: Why Self-Driving Cars Could Change Everything, ARC Investment Research (<http://research.ark-invest.com>); at <http://bit.ly/2xz6PNV>.
2. Kravets, V.V., Bass, K.M., Kravets, T.V., Tokar, L.V. Dynamic design of ground transport with the help of computational experiment, *MMSE Journal*, 1, October 2015, p.p. 105-111. ISSN 2412-5954, Open access www.mmse.xyz, DOI 10.13140/RG.2.1.2466.6643.
3. Kravets V., Kravets T., Bas K., Tokar L. *Mathematical model of a path and hodograph of surface transport* // *Transport Problems*. - 2014. – P.830-841.