

УДК 656.113

В.Ф. Греков, С.В. Орлов, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ИХ МАНЕВРЕННОСТЬ

Статья содержит некоторые результаты исследований маневренности однозвенных агрегатов и двухзвенных седельных автопоездов, состав и устройство оборудования которых определяются задачами служебно-боевой деятельности. Предлагаются аналитические методы определения диаграммы вписываемости, оценки маневренности для однозвенных агрегатов и двухзвенных седельных автопоездов при разворотах на прямоугольных перекрестках дорог разной категории при относительно малых скоростях, характерных для маневров в стесненных условиях.

Ключевые слова: вписываемость, маневренность, траектория движения.

Введение

Создание математического аппарата, позволяющего оценивать маневренность однозвенных агрегатов и двухзвенных седельных автопоездов со специальным оборудованием при разворотах на прямоугольных перекрестках дорог разной категории необходимо командиру при разработке маршрутов движения для определения возможности проходимости транспортных средств.

Анализ публикаций. Анализ литературы [1 – 5] показывает, что постановка и решение задач, позволяющих оценивать возможность однозвенных агрегатов и двухзвенных седельных автопоездов со специальным оборудованием осуществлять развороты на прямоугольных перекрестках дорог разной категории с учетом заднего свеса, отсутствует.

Целью статьи является изложение существа постановки и решения задач определения возможности проезда транспортными средствами поворотов на прямоугольных перекрестках дорог разной категории с учетом заднего свеса.

Основная часть

Введем некоторые определения.

Маневренность транспортного средства (ТС) – совокупность свойств, которые обеспечивают беспрепятственное поступательное криволинейное движение его по опорной поверхности, имеющей ограничения в размерах проезжей площади и ее форме.

Маневренность включает в себя более простые свойства: управляемость, поворотливость и вписываемость.

Управляемость – свойство ТС двигаться по траекториям различной кривизны в результате действия водителя на органы управления: рулевое колесо и через рулевой привод на управляемые колеса.

Поворотливость – свойство ТС совершать повороты по траекториям возможно большей кривизны при минимально возможной площади на опорной поверхности.

Вписываемость – свойство ТС, обеспечивающее соответствие его габаритной полосы криволинейного движения внешним ограничениям на опорной поверхности.

Управляемое криволинейное движение ТС характеризуется степенью соответствия формы траектории его движения управляющим воздействиям водителя. Предполагается, что это соответствие полное, и, следовательно, управляемое движение может быть описано функциональными зависимостями, связывающими такие геометрические параметры движения как кривизну траектории, ширину габаритной полосы движения и пр. с величиной и скоростью изменения углов поворота управляемых колес.

В дальнейшем будем рассматривать маневренность ТС при относительно малых скоростях, характерных для маневров ТС в стесненных условиях с позиций кинематики движения. Такой подход оправдан тем, что влияние эластичности шин на параметры криволинейного движения настолько мало, что им вполне можно пренебречь. Действительно, сопоставление экспериментальных траекторий движения с расчетными траекториями без учета бокового увода эластичных шин показало, что отклонения их друг от друга не превышали 4 – 5%.

Наиболее полное представление о возможности проезда ТС прямоугольного перекрестка дает диаграмма вписываемости.

Диаграмма вписываемости (рис. 1) представляет собой кривую, построенную в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс отложена ширина входного проезда, а по оси ординат – ширина

выходного проезда, соответствующая габаритной действительной полосе движения автомобиля или автопоезда. Кривая разграничивает области вписываемости в прямоугольный проезд. Над кривой расположена область значений ширин входа и выхода, которые позволяют заданному автопоезду вписаться в проезд.

Построение диаграммы вписываемости одиночного автомобиля. Рассмотрим разворот одиночного автомобиля на прямоугольном повороте (рис. 1). В момент начала поворота передние колеса автомобиля устанавливаются на максимально возможный угол. Автомобиль начинает движение по окружности, которая может быть охарактеризована радиусами отдельных его точек.

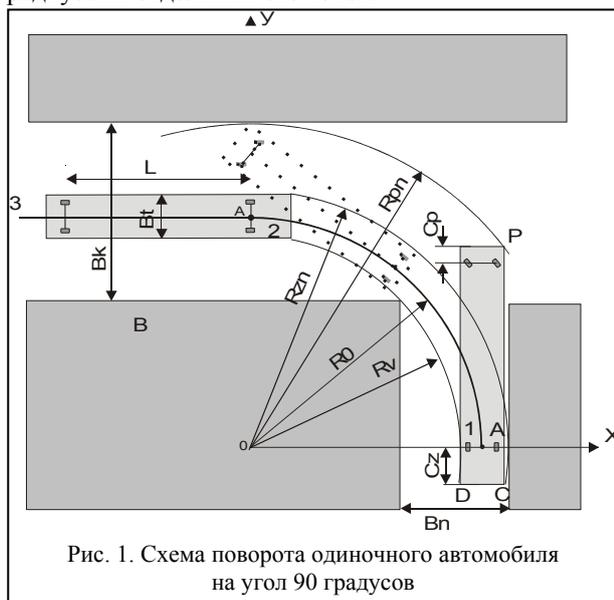


Рис. 1. Схема поворота одиночного автомобиля на угол 90 градусов

Определим величины этих радиусов:

$$R0 = \sqrt{(Rm - 0,5b)^2 - L^2};$$

$$Rzn = \sqrt{(R0 + 0,5Bt)^2 + Cz^2};$$

$$Rv = R0 - 0,5Bt,$$

$$Rpn = \sqrt{(R0 + 0,5Bt)^2 + (Cp + L)^2},$$

где Rm – минимальный радиус поворота по оси следа внешнего переднего колеса;

$R0$ – радиус поворота задних колес при круговом движении;

Rpn – габаритный минимальный радиус поворота передней наружной точки;

Rzn – габаритный минимальный радиус поворота задней наружной точки;

Rv – габаритный минимальный радиус поворота задней внутренней точки;

b – колея;

Bt – габаритная ширина автомобиля;

Cz – задний свес автомобиля;

Cp – передний свес автомобиля.

Величины Bk выходного и Bn входного проездов связаны с радиусами поворота уравнениями

$$Rv \cdot \cos(\alpha) = Rzn - Bn,$$

$$Rv \cdot \sin(\alpha) = Rpn - Bk.$$

Исключив угол поворота, получим зависимость, связывающую ширину выходного Bk и входного Bn проездов с радиусами поворота:

$$Rv^2 = (Rzn - Bn)^2 + (Rpn - Bk)^2.$$

Разрешив уравнение относительно Bk , имеем

$$Bk = Rpn - \sqrt{Rv^2 - (Rzn - Bn)^2}. \quad (1)$$

Зависимость величины выходного проезда от величины входного проезда представлена на рис. 2.

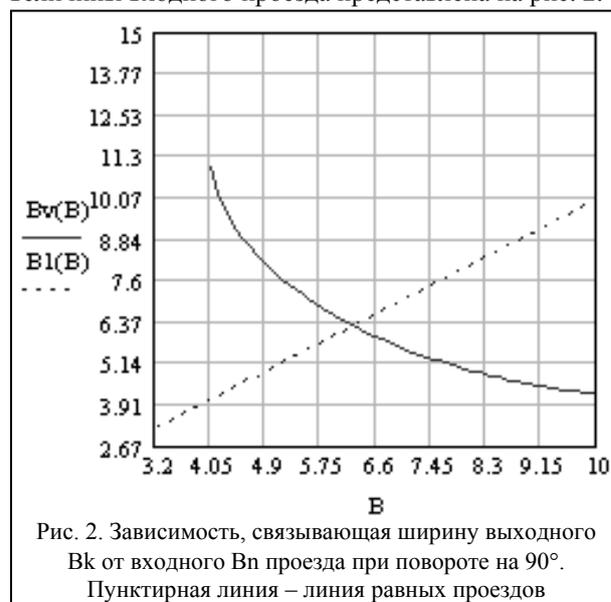


Рис. 2. Зависимость, связывающая ширину выходного Bk от входного Bn проезда при повороте на 90° . Пунктирная линия – линия равных проездов

Зависимость (1) представляет собой диаграмму вписываемости одиночного автомобиля. Диаграмма вписываемости без учета заднего свеса приводится в литературе, например, [1].

Диаграмма вписываемости позволяет дать ответ на вопросы:

– может ли одиночный автомобиль осуществить разворот на конкретном прямоугольном перекрестке?

– какая ширина выезда позволяет осуществить разворот?

– какая ширина въезда и выезда позволяет осуществить разворот при равнозначных проездах?

Например. При съезде автомобиля с дороги 5-й категории с шириной проезжей части 4,5 м и шириной обочины 1,75 м на грунтовую дорогу ширина въезда равна 8 м. Ширина выезда при этом должна быть равной около 5 м. При равнозначных проездах ширина въезда и выезда составляет 6,37 м.

Обычно в справочной литературе и в технических данных на ТС не приводится значение радиуса поворота заднего колеса (колес) при круговом движении, что вызывает трудности с его определением. Воспользовавшись имеющимся в литературе значением минимального радиуса поворота по оси следа переднего колеса Rm , определим радиус поворота $R0$ заднего колеса (колес) при круговом движении:

$$R0 = \sqrt{(Rm - 0,5b)^2 - L0^2},$$

где Rm – минимальный радиус поворота по оси следа переднего колеса;

b – колея автомобиля.

Построение диаграммы вписываемости седельного автопоезда. Поворот полуприцепного автопоезда. Рассмотрим геометрическую схему движения седельного тягача с полуприцепом в прямоугольном проезде (рис. 3). Тягач движется по прямой. Когда середина ведущего моста A достигает точки с координатами $X = R0, Y = 0$, дальнейшее движение тягача происходит по дуге окружности с центром в точке O и центральным углом 90° . После того, как середина ведущего моста тягача переместится в точку 2 с координатами $X = 0, Y = R0$, тягач продолжает движение по прямой $2-3$ с ординатой $Y = R0$. Продольная ось полуприцепа AB движется так, что его сцепка A с тягачом в точности повторяет траекторию середины ведущего моста тягача. Между продольными осями тягача и полуприцепа образуется переменный угол – угол складывания, увеличивающийся от нуля на входе в поворот до некоторого максимального значения при движении тягача по дуге окружности и вновь уменьшающийся на выходе из поворота.

Для определения коридора проходимости автопоезда необходимо найти траектории крайних точек автопоезда. Эти траектории определяют величины входного и выходного проездов. Крайняя верхняя траектория описывается наружной передней точкой P тягача. Верхняя граница проезда ограничивается нижней стороной прямоугольника I . Крайняя правая траектория описывается задней точкой полуприцепа C , а правая граница проезда ограничивается левой стороной прямоугольника II . Траектория точки D определяет внутренний участок въезда ограниченный сторонами прямоугольника III . Ширина въезда Bn равна расстоянию между прямоугольниками II и III , а ширина выезда Bk равна расстоянию между прямоугольниками I и III . Таким образом, возможность проезда автопоезда определяется траекторией движения характерных точек автопоезда при совершении поворота.

Скорость вращения рамы полуприцепа

$$\frac{d\Psi2}{dt} = \frac{V \cdot \sin \gamma}{L2}, \tag{2}$$

где $\Psi2$ – угол поворота рамы полуприцепа;

V – скорость движения агрегата;

$L2$ – база полуприцепа;

t – время;

γ – угол складывания автопоезда.

В свою очередь, угол складывания зависит от углов поворота рам тягача и полуприцепа

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{d\Psi1}{dt} - \frac{d\Psi2}{dt}, \tag{3}$$

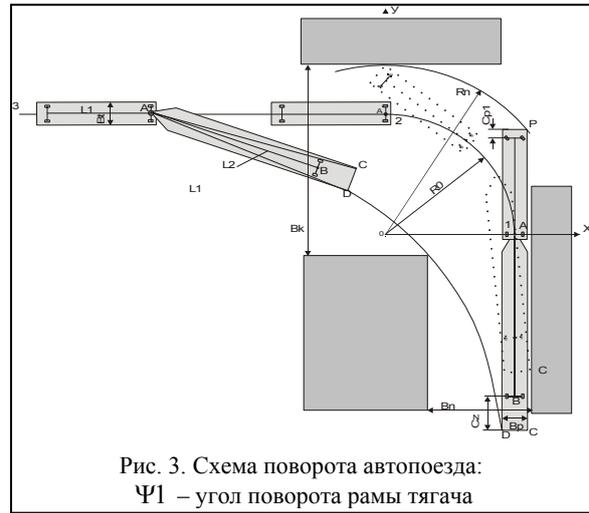


Рис. 3. Схема поворота автопоезда:
 $\Psi1$ – угол поворота рамы тягача

При постоянной скорости движения справедливо соотношение

$$ds = Vdt. \tag{4}$$

Для кругового движения с радиусом $R0$:

$$ds = R0d\Psi1, \tag{5}$$

$$\frac{d\eta}{ds} = \frac{d\Psi1}{ds} - \frac{\sin \gamma}{L2}. \tag{6}$$

Уравнение (6) с учетом уравнения (5) можно записать в виде

$$\frac{d\eta}{ds} = \frac{1}{R0} - \frac{\sin \gamma}{L2}. \tag{7}$$

Уравнение (7) в замкнутой форме не интегрируется. Решение уравнения в виде ряда

$$\gamma = \frac{s}{R0} - \frac{s^2}{2R0L2} + \frac{s^3}{6L2^2R0} - \frac{5(R0^2 - L2^2)s^4}{12L2^3R0^3} + \frac{(R0^2 - 7L2^2)s^5}{12L2^4R0^3}. \tag{8}$$

Поворот седельного тягача с полуприцепом на угол $\pi/2$ происходит в два этапа:

- поворот тягача на угол $\pi/2$ при вращении его по дуге окружности радиуса $R0$ относительно точки O ;

- движение тягача по прямой $2-3$.

Определим условие перехода с первого этапа на второй. Таким условием может быть путь, пройденный тягачом от начала движения $s = 0$ до конца разворота $s = R0\pi/2$.

$$\lambda = \lambda \left(0 < s < \frac{R0\pi}{2} \right). \tag{9}$$

При этом функция λ принимает значение $\lambda = 1$, если $0 \leq s \leq R0\pi/2$ или $\lambda = 0$, если $s > R0\pi/2$.

Так как уравнение (8) описывает движение только первой фазы поворота, то запишем его в виде

$$\gamma = \left[\frac{s}{R0} - \frac{s^2}{2R0L2} + \frac{s^3}{6L2^2R0} - \frac{5(R0^2 - L2^2)s^4}{12L2^3R0^3} + \frac{(R0^2 - 7L2^2)s^5}{12L2^4R0^3} \right] \lambda. \tag{10}$$

При движении тягача по прямой угол складывания начинает уменьшаться, так как автопоезд вытягивается в прямую линию. Закон изменения угла складывания может быть получен из уравнений движения автопоезда

$$\frac{d\gamma_2}{ds} + \frac{\sin \gamma}{L_2} = 0. \quad (11)$$

Замена $u = \text{tg}(\gamma_2/2)$ приводит уравнение (11) к частному случаю уравнения Рикатти

$$\frac{du}{ds} + \frac{u}{L_2} = 0. \quad (12)$$

Решение уравнения имеет вид

$$u = C e^{-\frac{s}{L_2}}.$$

При $s = 0, \gamma_2 = \gamma_{20}, C = \text{tg}(\gamma_{20}/2)$.

После подстановки значения u , получим

$$\text{tg} \frac{\gamma_2}{2} = \text{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}},$$

или, разрешив относительно γ_2 , имеем

$$\gamma_2 = 2 \arctg \left[\text{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}} \right]. \quad (13)$$

Так как уравнение (12) описывает закон изменения угла складывания только на прямолинейном участке движения тягача, то поставим условие его реализации с учетом (9):

$$\gamma_2 = 2 \arctg \left[\text{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}} \right] \cdot (1 - \lambda). \quad (14)$$

Тогда можно записать уравнение изменения угла складывания в процесс поворота автопоезда

$$\gamma_3 = \gamma + \gamma_2.$$



Определим координаты точек автопоезда при повороте.

Угол поворота рамы тягача зависит от пройденного пути и может быть записан в виде:

$$\Psi_1 = \left(\frac{\pi}{2} - \frac{s}{R_0} \right) \lambda,$$

а угол поворота рамы полуприцепа равен сумме угла поворота тягача и угла складывания автопоезда

$$\Psi_2 = \Psi_1 + \gamma_3.$$

Координаты точки А тягача:

$$X_a = R_0 \sin(\Psi_1) + \left(R_0 \frac{\pi}{2} - s \right) (1 - \lambda),$$

$$Y_a = R_0 \cos(\Psi_1).$$

Координаты точки Р полуприцепа:

$$X_p = R_p \cdot \cos \left(\alpha_2 + \frac{\pi}{2} - \Psi_1 \right), \quad Y_p = R_p \cdot \sin \left(\alpha_2 + \frac{\pi}{2} - \Psi_1 \right).$$

Ограничением по прохождению передней наружной точки является

$$Y_n = R_p.$$

Координаты точки В полуприцепа:

$$X_b = X_a + L_2 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right), \quad Y_b = Y_a - L_2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right).$$

Если определить угол между продольной осью полуприцепа и направлением на точки С и D, а также радиусы точек С и D относительно сцепного устройства, то, зная текущий угол поворота рамы, можно найти траектории движения точек С и D.

Углы между продольной осью полуприцепа и направлением на точки С и D в силу симметричности полуприцепа одинаковы. Величина этих углов

$$\alpha_p = \alpha_c = \arctg \left(\frac{B_p}{2 \cdot (L_2 + C_z)} \right).$$

Расстояние от точки сцепки до точек С и D получим исходя из геометрических размеров полуприцепа. При симметричном относительно продольной оси полуприцепа эти расстояния равны

$$R_d = R_c = \sqrt{\left(\frac{B_p}{2} \right)^2 + (L_2 + C_z)^2}.$$

Координаты точки С при повороте:

$$X_c = X_a + R_c \cdot \sin \left[\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right) + \alpha_p \right],$$

$$Y_c = Y_a - R_c \cdot \cos \left[\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right) + \alpha_p \right].$$

Координаты точки D при повороте:

$$X_d = X_a + R_c \cdot \sin \left[\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right) - \alpha_p \right],$$

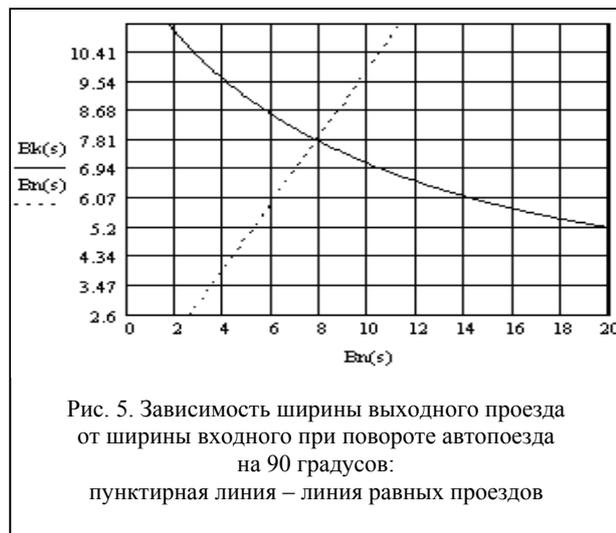
$$Y_d = Y_a - R_c \cdot \cos \left[\left(\frac{\pi}{2} - \Psi_2 \right) - \alpha_p \right].$$

Зная траекторию точки D, можно определить параметры проезда в процессе поворота автопоезда.

Ширина входного проезда: $B_n = X_c \max - X_d$.

Ширина выходного проезда: $B_k = Y_n - Y_d$.

Зависимость величины выходного проезда от величины входного проезда представлена на рис. 5.



Зависимость ширины выходного проезда от ширины входного при повороте автопоезда на 90 градусов, представленная на рис. 5, является диаграммой вписываемости.

Диаграмма вписываемости позволяет ответить на вопросы:

– может ли полуприцепной автопоезд осуществить разворот на заданном прямоугольном перекрестке?

– какая ширина выезда позволяет осуществить разворот?

– какая ширина въезда и выезда позволяет осуществить разворот при равнозначных проездах?

Пример. При съезде автопоезда с дороги 5-й категории, ширина проезжей части которой составляет 4,5 м, ширина обочины 1,75 м на грунтовую дорогу, ширина въезда равна 8 м.

Ширина выезда должна быть равной около 7,81 м.

При равнозначных проездах ширина въезда и выезда составляет 7,9 м.

Выводы

В статье изложена постановка задач определения возможности проезда транспортными средствами, которые обеспечивают служебно-боевую деятельность, прямоугольных поворотов и перекрестков дорог разной категории с учетом заднего свеса. В результате решения этих задач предложен способ построения диаграмм вписываемости ТС, который позволяет:

– определять возможность проезда однозвенными агрегатами и двухзвенными седельными автопоездами данных прямоугольных поворотов и перекрестков дорог разной категории с учетом заднего свеса;

– определять параметры въезда и выезда, позволяющие однозвенным агрегатам и двухзвенным седельным автопоездам осуществить разворот на прямоугольных поворотах и перекрестках при равнозначных проездах.

Список литературы

1. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – С. 15.
2. Краткий автомобильный справочник. – М.: Транспорт, 1982. – 321 с.
3. Лобас Л.Г. Механика многозвенных систем с качением. – К.: Наукова думка, 2000. – 624 с.
4. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
5. Запрягаев М.М. и др. Армейские автомобили. – М.: МО СССР, 1970. – 480 с.

Поступила в редколлегию 3.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Н.Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЇХ МАНЕВРЕНІСТЬ

В.Ф. Греков, С.В. Орлов, А.А. П'янков, Ю.А. Ткаченко

Стаття містить деякі результати досліджень маневреності одноланкових агрегатів і двухланкових сидельних автопоїздів, склад і побудова устаткування яких визначаються завданнями службово-бойової діяльності. Пропонуються аналітичні методи визначення діаграми вписуваності, оцінки маневреності для одноланкових агрегатів і двухланкових сидельних автопоїздів при розворотах на прямокутних перехрестях доріг різної категорії при досить малих швидкостях, характерних для маневрів в обмежених умовах.

Ключові слова: вписуваність, маневреність, траєкторія руху.

INFLUENCE OF DESIGN-LAYOUT CHARTS OF TRANSPORT VEHICLES ON THEIR MANOEUVRABILITY

V.F. Grekov, S.V. Orlov, A.A. Pyankov, Yu.A. Tkachenko

The article contains some results of manoeuvrability researches for the single-link and double-link saddle road-trains, when their composition and structure is determined by the tasks of service-battle activity. The analytical methods of determination of diagram of negotiation are offered for estimation of manoeuvrability of the single-link and double-link saddle machinery on their U-turning on the rectangular crossroad of different category at low-speed, which is typical for manoeuvres on the confined conditions.

Keywords: negotiation, manoeuvrability, trajectory of motion.