

УДК 656.113

В. П. Греков, А. А. П'янков, О. В. Іванченко

ОСОБЛИВОСТІ МАНЕВРУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ПРЯМОКУТНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ ДОРІГ РІЗНОЇ КАТЕГОРІЇ З УРАХУВАННЯМ ЗАДНЬОГО ЗВИСУ

Пропонуються аналітичний метод визначення діаграми вписуємості для напівприцепних автопоїздів та математичний апарат, що дозволяє оцінювати маневреність сідельного автопоїзда при поворотах на прямокутних перехрестях доріг різної категорії.

К л ю ч о в і с л о в а: евакуація, бронетехніка, автопоїзд, діаграма вписуваності.

Постановка проблеми. На внутрішні війська МВС України покладено велику кількість завдань, одним з яких є охорона громадського порядку з метою забезпечення громадської безпеки під час проведення масових заходів і припинення масових безладь у містах та населених пунктах. У процесі виконання цього завдання нерідко виникає достатньо серйозна технічна задача з евакуації пошкодженої важкої бронетехніки. По перше, для цього потрібні евакозасоби великих габаритів та вантажопідйомності. По друге, ці евакозасоби повинні добре маневрувати у місті.

Стаття є розвитком досліджень маневрування транспортного засобу на прямокутних перехрестях доріг різної категорії з урахуванням заднього звису [1] та містить результати досліджень маневреності сідельного автопоїзда.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–4] показує, що постановка і рішення задач, які дозволяють оцінювати можливість сідельного автопоїзда здійснювати розвороти на прямокутних перехрестях доріг різної категорії з урахуванням заднього звису, відсутні.

Метою статті є виклад суті постановки і рішення задач визначення можливості проїзду сідельним автопоїздом поворотів на прямокутних перехрестях доріг різної категорії з урахуванням заднього звису.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи введені визначення [1], розглядатимемо маневреність сідельного автопоїзда при відносно малих швидкостях, характерних для маневрів транспортних засобів (ТЗ) на обмеженому просторі, з позицій кінематики руху. Такий підхід виправданий тим, що вплив еластичності шин на параметри криволінійного руху настільки малий, що їм цілком можна нехтувати. Зіставлення експериментальних траєкторій руху з розрахунковими траєкторіями без урахування бічного відведення еластичних шин показало, що відхилення їх однієї від іншої не перевищували 4 – 5 %.

Найбільш повне уявлення про можливість проїзду транспортними засобами прямокутного перехрестя дає діаграма вписуємості [1]. Вона являє собою криву, побудовану в прямокутній системі координат. По осі абсцис відкладена ширина вхідного проїзду, а по осі ординат – ширина вихідного проїзду, що відповідає дійсній габаритній смужі руху автомобіля. Крива розмежовує області вписуємості в прямокутний проїзд. Над кривою розташована область значень ширини входу і виходу, що дозволяють заданому ТЗ вписатися в проїзд.

Розглянемо геометричну схему руху сідельного тягача з напівприцепом у прямокутному проїзді (див. рис 1).

Тягач рухається по прямій. Коли середина ведучого моста А досягає точки з координатами $X = R_0$, $Y = 0$, подальший рух тягача відбувається по дузі окружності з центром у точці О і центральним кутом 90° . Після того, як середина ведучого моста тягача переміститься в точку 2 з координатами $X = 0$, $Y = R_0$, тягач продовжує рух по прямій 2–3 з ординатою $Y = R_0$. Подовжня вісь напівпричепи АВ рухається так, що його зчіпка А з тягачем у точності повторює траєкторію середини ведучого моста тягача. Між подовжніми осями тягача і напівпричепи утвориться змінний кут складання, що збільшується від нуля на вході в поворот до деякого максимального значення під час руху тягача по дузі окружності і знову зменшується на виході з повороту.

Для визначення коридору прохідності автопоїзда необхідно знайти траєкторії крайніх точок автопоїзда. Ці траєкторії визначають величини вхідного і вихідного проїздів. Крайню верхню

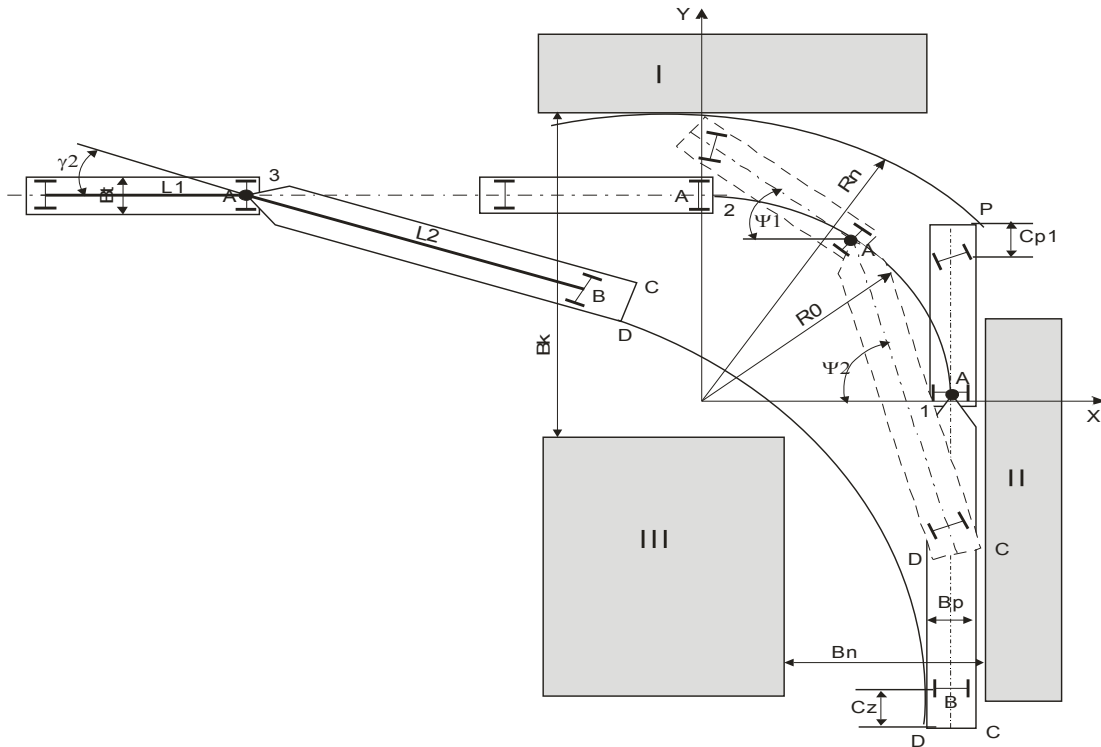


Рис.1. Схема повороту автопоїзда

траєкторію описує зовнішня передня точка Р тягача. Верхня границя проїзду обмежена нижньою стороною прямокутника I. Крайню праву траєкторію описує задня точка напівпричепи С. Права границя проїзду обмежена лівою стороною прямокутника II. Траєкторія точки D визначає внутрішню ділянку в'їзду, обмежену сторонами прямокутника III. Ширина в'їзду B_n дорівнює відстані між прямокутниками II і III, а ширина виїзду B_k дорівнює відстані між прямокутниками I і III. Таким чином, можливість проїзду автопоїзда визначається траєкторією руху характерних точок автопоїзда у процесі повороту.

Швидкість обертання рами напівпричепи:

$$\frac{d\psi_2}{dt} = \frac{V \cdot \sin \gamma}{L_2}, \quad (1)$$

де ψ_2 – кут повороту рами напівпричепи; V – швидкість руху агрегата; L_2 – база напівпричепи; t – час; γ – кут складання автопоїзда.

Своєю чергою кут складання залежить від кутів повороту рам тягача і напівпричепи:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\psi_1}{dt} - \frac{d\psi_2}{dt}, \quad (2)$$

де ψ_1 – кут повороту рами тягача.

За умови постійної швидкості руху справедливе співвідношення:

$$ds = V dt. \quad (3)$$

Для кругового руху з радіусом R_0 :

$$ds = R_0 d\psi_1, \quad (4)$$

$$\frac{d\gamma}{ds} = \frac{d\psi_1}{ds} - \frac{\sin \gamma}{L_2}. \quad (5)$$

Рівняння (5) з урахуванням рівняння (4) можна записати у вигляді

$$\frac{d\gamma}{ds} = \frac{1}{R_0} - \frac{\sin \gamma}{L_2}. \quad (6)$$

Рівняння (6) у замкнутій формі не інтегрується. Залежність $\gamma = f(s)$ отримаємо, знаходячи рішення рівняння у вигляді ряду:

$$\gamma = \frac{s}{R_0} - \frac{s^2}{2R_0L_2} + \frac{s^3}{6L_2^2R_0} - \frac{5(R_0^2 - L_2^2)s^4}{12L_2^3R_0^3} + \frac{(R_0^2 - 7L_2^2)s^5}{12L_2^4R_0^3}. \quad (7)$$

Ряд обмежимо п'ятьма членами. П'ятий член дає добавку менше 0,2 %, що задовольняє точність обчислень.

Поворот сідельного тягача з напівпричепом на кут $\pi/2$ відбувається в два етапи:

– перший етап - поворот тягача на кут $\pi/2$ при обертанні його по дузі окружності радіуса R_0 щодо точки 0;

– другий етап – рух тягача по прямій 2-3.

Умовою переходу з першого етапу на другий може бути шлях, пройдений тягачем від початку руху $s = 0$ до кінця розвороту $s = R_0 \cdot \pi/2$.

Для побудови залежності $\gamma = f(s)$ на першому етапі вводимо функцію λ

При цьому функція λ набуває значення $\lambda = 1$, якщо $0 \leq s \leq R_0\pi/2$ або $\lambda = 0$, якщо $s > R_0\pi/2$, тобто

$$\lambda = if \left(s \leq R_0 \frac{\pi}{2}, 1, 0 \right). \quad (8)$$

Рівняння (7) описує рух тільки на першому етапі повороту, тому

$$\gamma = \left[\frac{s}{R_0} - \frac{s^2}{2R_0L_2} + \frac{s^3}{6L_2^2R_0} - \frac{5(R_0^2 - L_2^2)s^4}{12L_2^3R_0^3} + \frac{(R_0^2 - 7L_2^2)s^5}{12L_2^4R_0^3} \right] \lambda. \quad (9)$$

У випадку руху тягача по прямій, кут складання починає зменшуватися, тому що автопоїзд витягується у пряму лінію. Закон зміни кута складання може бути визначений з рівняння руху автопоїзда:

$$\frac{d\gamma_2}{ds} + \frac{\sin \gamma_2}{L_2} = 0. \quad (10)$$

де γ_2 – кут складання на другому етапі повороту.

Заміна $u = \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2}$ зводить рівняння (10) до окремого випадку рівняння Рікатті:

$$\frac{du}{ds} + \frac{u}{L_2} = 0. \quad (11)$$

Рішення рівняння має вигляд: $u = Ce^{-\frac{s}{L_2}}$. При $s = 0$, $\gamma_2 = \gamma_{20}$, $C = \operatorname{tg} \left(\frac{\gamma_{20}}{2} \right)$.

Після підстановки значення u , одержимо: $\operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2} = \operatorname{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}}$, або після розв'язування відносно γ_2 :

$$\gamma_2 = 2 \operatorname{arctg} \left[\operatorname{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}} \right]. \quad (12)$$

Рівняння (11) описує закон зміни кута складання на другому етапі повороту. Рівняння $\gamma_2 = f(s)$ на другому етапі повороту

$$\gamma_2 = 2 \operatorname{arctg} \left[\operatorname{tg} \frac{\gamma_{20}}{2} \cdot e^{-\frac{s}{L_2}} \right] \cdot (1 - \lambda). \quad (13)$$

Залежність зміни кута складання автопоїзда на першому (9) і другому етапах (13) повороту з урахуванням значення λ має вигляд

$$\gamma_3 = if(\psi_1 \geq 0, \gamma, \gamma_2)$$

і зображена на рис.2

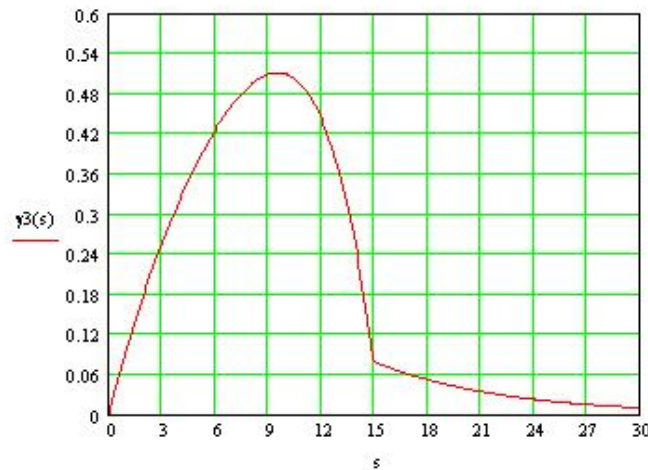


Рис. 2. Графік зміни кута складання в процесі повороту автопоїзда

Визначимо координати точок автопоїзда при повороті. Кут повороту рами тягача залежить від пройденого шляху і може бути записаний у такому вигляді:

$$\Psi_1 = \left(\frac{\pi}{2} - \frac{s}{R0} \right) \cdot \lambda.$$

Кут повороту рами напівпричепа дорівнює сумі кута повороту тягача і кута складання автопоїзда $\Psi_2 = \Psi_1 + \gamma_3$.

Координати точки А тягача:

$$X_a = R0 \sin \left(\Psi_1 + R0 \frac{\pi}{2} - s \right) (1 - \lambda), \quad Y_a = R0 \cos(\Psi_1).$$

Координати точки Р напівпричепа:

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

Обмеження проходження передньої зовнішньої точки: $Y_n = R_p$.

Координати точки В напівпричепа:

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

Якщо визначити кут між подовжною віссю напівпричепа і напрямком на точки С та D, а також радіуси точок С та D відносно зчпного пристрою, то, знаючи поточний кут повороту рами, можна знайти траєкторії руху точок С та D.

Кути між подовжною віссю напівпричепа і напрямком на точки С та D внаслідок симетричності напівпричепа однакові. Величина цих кутів:

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

Відстань від точки зчпки до точок С і D одержимо, виходячи з геометричних розмірів напівпричепа. Для симетричного щодо подовжньої осі напівпричепа ці відстані дорівнюватимуть:

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

Координати точки С при повороті:

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

Координати точки D при повороті:

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

Знаючи траєкторію точки D, можна визначити параметри проїзду автопоїзда на повороті.

Ширина вхідного проїзду: $B_n = X_c \max - X_d$.

Ширина вихідного проїзду: $B_k = Y_n - Y_d$.

Залежність ширини вихідного проїзду від величини вхідного проїзду представлена на рис. 3. Вона є діаграмою вписуваності.

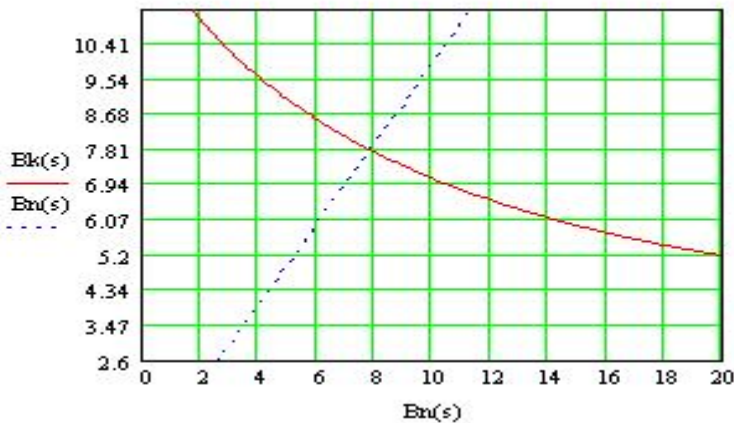


Рис. 3. Залежність ширини вихідного проїзду від ширини вхідного проїзду автопоїзда на повороті 90°. Пунктирна лінія – лінія рівних проїздів

Діаграма вписуваності дозволяє відповісти на такі питання.

1. Чи може напівпричіпний автопоїзд здійснити розворот на заданому прямокутному перехресті?
2. Яка ширина виїзду дозволяє здійснити розворот?
3. Яка ширина в'їзду і виїзду дозволяє здійснити розворот при рівнозначних проїздах?

Так, у випадку повороту автопоїзда з дороги, ширина проїзної частини якої складає 4,5 м, а ширина узбіччя 1,75 м, на дорогу, ширина в'їзду якої дорівнює 8 м, ширина виїзду повинна бути близько 7,81 м. При рівнозначних проїздах ширина в'їзду і виїзду складає 7,9 м.

Висновки

У статті викладено визначення можливості проїзду евакуаційними засобами підвищеної вантажепідємності прямокутних поворотів і перехресть доріг різної категорії з урахуванням заднього звису. Запропоновано спосіб побудови діаграм вписуваності транспортних засобів, що дозволяє:

- визначати можливість проїзду дволанцюговими сідельними автопоїздами прямокутних поворотів і перехресть доріг різної категорії з урахуванням заднього звису;
- визначати параметри в'їзду і виїзду, що дозволяють сідельним автопоїздам здійснити розворот на прямокутних поворотах і перехрестях при рівнозначних проїздах.

Список використаних джерел

1. Особливості маневрування транспортного засобу на прямокутних перехрестях доріг різної категорії з урахуванням заднього звису [Текст] / В. П. Греков, А. А. П'янков, О. В. Іванченко, С. Є. Вискребенцев // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2009. – Вип. 2 (14). – С. 40–42.
2. Закин, Я. Х. Маневренность автомобиля и автопоезда [Текст] / Я. Х. Закин. – М. : Транспорт, 1986. – 132 с.
3. Короткий автомобильный справочник НИИАТ [Текст]. – М. : Транспорт, 1982. – 464 с.
4. Лобас, Л. Г. Механіка багатоланкових систем з кочення [Текст] / Л. Г. Лобас. – К. : Наук. думка, 2000. – 279 с.

Стаття надійшла до редакції 04.01.2012 р.