

УДК 656.13

Вороніна І.Ф., к.т.н., Сімон Д.Ф., студент

АДІ ДонНТУ, м. Горлівка

ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ ВІЗКОМ НАПІВПРИЧЕПА ТРИЛАНКОВОГО АВТОПОЇЗДА

Розглянуто три стратегії керування візком напівпричепа. Проведеними розрахунками показано, що визначена стратегія керування візком напівпричепа по коловій траєкторії повинна бути реалізована в конструкції візка напівпричепа і перевірена за умови забезпечення стійкості руху автопоїзда.

Вступ

Переваги триланкових автопоїздів у порівнянні з дволанковими загальновідомі. Для збільшення продуктивності рухомого складу необхідно збільшити або середньотехнічну швидкість, або вантажопідйомність. Збільшення технічної швидкості має свої обмеження, що регламентуються, зокрема, правилами дорожнього руху. З цього випливає, що необхідно збільшити вантажопідйомність рухомого складу. Найбільш ефективним напрямком з цього приводу можна вважати збільшення числа ланок, особливо в умовах обмежень осьових навантажень. Використання таких багатоланкових автопоїздів стає особливо актуальним при русі в транспортних коридорах.

Для збільшення довжини та числа ланок автопоїздів необхідно спочатку здійснити вибір ряду параметрів, тому що можна значно погіршити експлуатаційні властивості автотранспортних засобів (АТЗ), зокрема маневреність.

Забезпечення необхідного рівня маневреності триланкових автопоїздів є важливою і не цілком вирішеною задачею.

У даний час для перевезень вантажів застосовується велика кількість автопоїздів різних типів, різних компоновальних схем, у тому числі і багатоланкових.

Аналіз досліджень та постановка задачі

Маневреністю АТЗ називають сукупність таких властивостей, які забезпечують безперешкодний рух їх по опорній поверхні, що має обмеження як за площею, так і за формою [1]. Такими обмеженнями при русі АТЗ можуть бути просторові, що зв'язані з довжиною і висотою транспортного засобу, а також обмеження за формою і розмірами дорожнього полотна, яке є опорною поверхнею для кочення коліс автопоїзда.

При русі автопоїзда всі його точки здійснюють поступальне переміщення по своїх траєкторіях, що у сукупності утворює габаритну смугу руху, яку визначити теоретично досить складно і неможливо оцінити невеликим числом параметрів. Тому для оцінки маневреності використовують такі вимірювачі і характеристики [1, 2, 3]: мінімальний і максимальний габаритні радіуси повороту, параметр маневреності при круговому русі, поворотна ширина по сліду коліс, габаритна смуга руху (ГСР), апроксимована ГСР, концентрична апроксимована ГСР, чинник і показник маневреності, під яким розуміється ступінь зсуву траєкторії руху веденої ланки автопоїзда відносно ведучої.

Згідно досліджень Я.Х. Закіна [2] встановлено, що габаритна смуга руху і габаритний коридор будуть максимальними на круговій траєкторії. Для некерованих триланкових автопоїздів ГСР перевищує максимально допустиму за Правилами 36 ЄЕК ООН. У цих правилах відзначено, що такий автопоїзд повинен вписатися в поворот, обмежений відповідно радіусами 12,5 і 5,3 м [5].

Формування мети

Метою роботи є встановлення того факту, за якої кількості керованих осей напівпричепа і якої стратегії управління його колесами кожна із компоновальних схем автопоїзда (рис. 1) забезпечить нормовані показники маневреності.

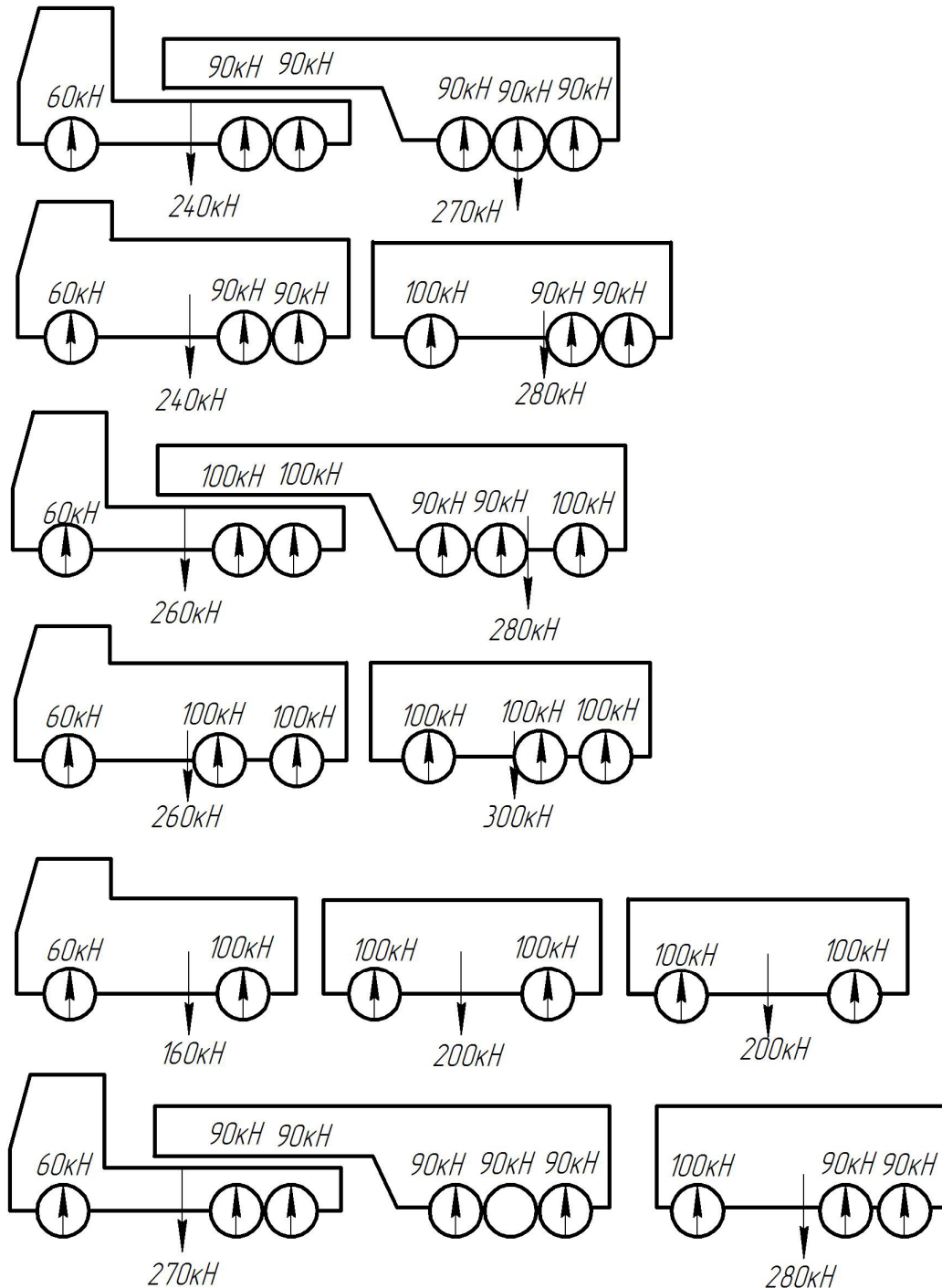


Рис. 1. Компоновальні схеми автопоїздів, що використовуються на міжміських і міжнародних перевезеннях вантажів

Основна частина

Розглянемо наступні стратегії керування візком напівпричепа [4]:

- 1) візок напівпричепа рухається по траєкторії автомобіля-тягача;

2) візок напівпричепа рухається по траєкторії, що відхиляється в зовнішню сторону від траєкторії автомобіля-тягача таким чином, що кістяк напівпричепа розташовується по дотичній до траєкторії тягача;

3) візок рухається по траєкторії, що відхиляється в зовнішню сторону від траєкторії автомобіля-тягача таким чином, що кістяк напівпричепа розташовується між хордою (1-ий варіант) і дотичною до траєкторії (2-ий варіант).

Розгляд стратегій керування зробимо при наступних спрощеннях:

- перерозподіл навантажень по колесах окремих осей автопоїзда відсутній, тобто система плоска;
- бокове відведення коліс відсутнє;
- точки зчипки кістяка напівпричепа з автомобілем-тягачем збігаються з їх характерними точками;
- характерна точка напівпричепа розташовується над його середньою віссю, характерна точка причепа – посередині між двома наближеними або посередині між двома задніми осями;
- ширина автомобіля-тягача, кістяка напівпричепа і причепа не враховується.

За прийнятих допущення визначимо максимальні значення ГСР при обраних стратегіях керування.

Перша стратегія

Нехай автомобіль-тягач рухається по круговій траєкторії, причому його характерна точка описує дугу радіуса R (рис.2). Будемо вважати, що і характерна точка напівпричепа, і характерна точка причепа рухаються цією ж траєкторією, тобто описують дугу того ж радіуса R . За таких умов визначальною буде середня точка напівпричепа AB , яка буде описувати також концентричне коло меншого радіуса r . Габаритна смуга руху у цьому випадку буде являти собою кругове кільце шириною h_1 .

Відповідно до рис. 2 ширина кільця

$$h_1 = R - r = R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}}, \quad (1)$$

або

$$h_1 = L \left(a - \sqrt{a^2 - \frac{1}{4}} \right), \quad (2)$$

де $L=AB$; $a = \frac{R}{L}$. При цьому $a \geq \frac{1}{2}$.

Друга стратегія

Нехай характерна точка напівпричепа рухається по круговій траєкторії так, що кістяк напівпричепа AB розташовується по дотичній до кругової траєкторії автомобіля-тягача. При цьому характерна точка напівпричепа опише коло, яке є зовнішнім по відношенню до кола, що описує характерна точка автомобіля-тягача (рис. 3)

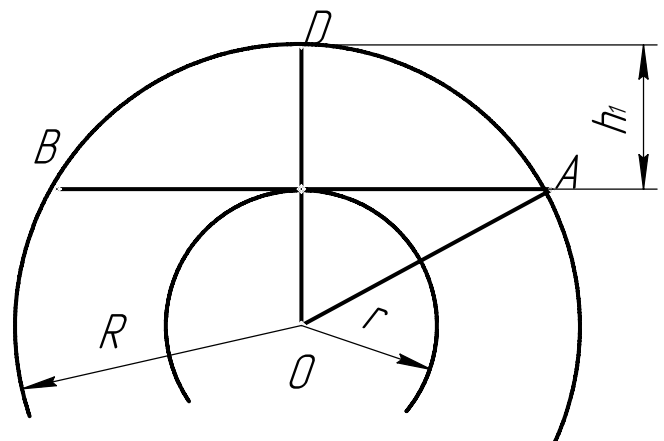


Рис. 2. Схема руху автопоїзда по круговій траєкторії по першій стратегії керування візком напівпричепа

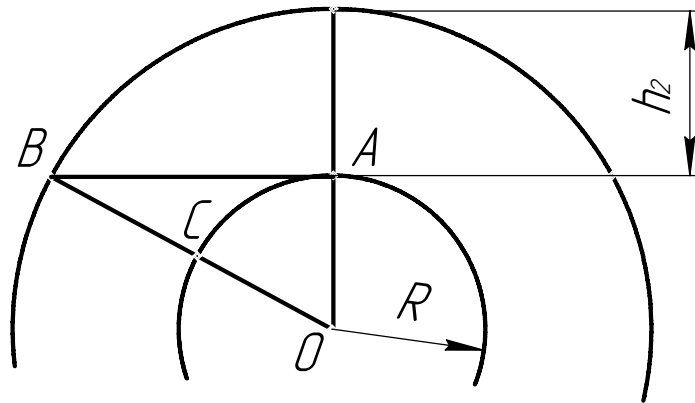


Рис. 3. Схема руху автопоїзда по круговій траєкторії по другій стратегії керування візком напівпричепа

Габаритна смуга руху в цьому випадку буде також круговим кільцем шириною h_2 .
Із рис. 3 випливає

$$h_2 = L \left(\sqrt{\frac{R^2}{L^2} + 1} - \frac{R}{L} \right). \quad (3)$$

При тому ж позначенні $a = \frac{R}{L}$ отримаємо

$$h_2 = L \left(\sqrt{a^2 + 1} - a \right). \quad (4)$$

Неважко довести, що $h_2 > h_1$ при всіх припустимих значеннях a .

Третя стратегія

Розглянемо випадок, коли кістяк напівпричепа розташовується в проміжному положенні між хордою і дотичною (рис. 4).

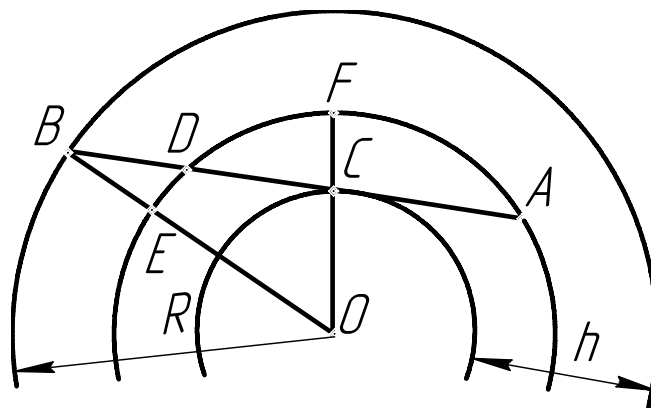


Рис. 4. Схема руху автопоїзда по круговій траєкторії по третій стратегії керування візком напівпричепа

Нехай частина кістяка напівпричепа - AD буде розташована усередині кругової траєкторії, що описує характерна точка автомобіля-тягача A , а інша частина кістяка - DB описує концентричне коло радіуса OB , яке є зовнішнім відносно траєкторії автомобіля-тягача.

Габаритна смуга руху буде визначатися шириною двох кругових кілець BE і FC .

Позначимо $AD = \alpha L$, де $\alpha \in [0; 1]$.

Тоді

$$h = L \left(\sqrt{\frac{R^2}{L^2} + 1 - \alpha} - \sqrt{\frac{R^2}{L^2} - \frac{\alpha^2}{4}} \right). \quad (5)$$

При тому ж позначенні $\frac{R}{L} = a$ одержимо

$$h = L \left(\sqrt{a^2 + 1 - \alpha} - \sqrt{a^2 - \frac{\alpha^2}{4}} \right). \quad (6)$$

Неважко помітити, що при $\alpha = 0$ із (6) випливає (2), а при $\alpha = 1$ із (6) випливає (4).

Таким чином, третя стратегія керування містить у собі, як окремі випадки, першу та другу стратегії керування.

Підберемо α так, щоб ширина габаритного коридору прийняла найменше значення.

Для цього дослідимо функцію (5) на екстремум. Візьмемо похідну по α . Отримаємо

$$\frac{dh}{d\alpha} = L \left[\frac{\alpha}{4 \times \sqrt{a^2 - \frac{\alpha^2}{4}}} - \frac{1}{2 \times \sqrt{a^2 + 1 - \alpha}} \right]. \quad (7)$$

Розв'яжемо нерівність

$$\frac{dh}{d\alpha} \leq 0. \quad (8)$$

При цьому, якщо $\frac{dh}{d\alpha} < 0$ і $\alpha \in [0; 1]$, то це буде означати, що функція (5) строго убиває і досягає свого найменшого значення при $\alpha = 1$, тобто оптимальною стратегією керування є перша стратегія. Якщо ж $\frac{dh}{d\alpha} = 0$ за умови, що $0 < \alpha < 1$, то при виконанні достатніх умов h буде досягати свого мінімального значення за цього значення α .

Перетворимо нерівність

$$\left[\frac{\alpha}{4 \times \sqrt{a^2 - \frac{\alpha^2}{4}}} - \frac{1}{2 \times \sqrt{a^2 + 1 - \alpha}} \right] \leq 0$$

до вигляду

$$\alpha^3 - (a^2 + 2)\alpha^2 + 4a^2 \geq 0, \quad (9)$$

або

$$(\alpha - 2) \times (\alpha^2 - a^2\alpha - 2a^2) \geq 0. \quad (10)$$

Записаний багаточлен (9) має три дійсних корені:

$$\alpha_1 = \frac{a^2 - \sqrt{a^4 + 8a^2}}{2};$$

$$\alpha_2 = \frac{a^2 + \sqrt{a^4 + 8a^2}}{2};$$

$$\alpha_3 = 2.$$

Перший і третій корені можна зразу відкинути, оскільки вони виходять за межі відрізка $[0, 1]$ ($\alpha_1 < 0$; $\alpha_3 > 1$).

Перевіримо приналежність α_2 відрізка $[0, 1]$, тобто

$$\frac{a^2 + \sqrt{a^4 + 8a^2}}{2} \leq 1.$$

Для рівності отримаємо

$$a \leq \frac{\sqrt{3}}{3} \approx 0,577.$$

Отже, при $a \in [0,5; 0,577]$ оптимальною буде третя стратегія керування візком напівпричепа, причому

$$\alpha = \frac{a^2 + \sqrt{a^4 + 8a^2}}{2}. \quad (11)$$

За обраних значень a можна запропонувати таку формулу для визначення α :

$$\alpha \approx 2a - \frac{1}{6}. \quad (12)$$

Якщо ж $a > 0,577$, то оптимальною буде перша стратегія керування візком напівпричепа. Оскільки для триланкових автопоїздів a значно більше за $0,577$, то для них оптимальною буде перша стратегія керування візком напівпричепа.

Висновок

Проведеними розрахунками показано, що визначена стратегія керування візком напівпричепа по коловій траєкторії повинна буди реалізована в конструкції візка напівпричепа і перевірена за умови забезпечення стійкості руху автопоїзда.

Список літератури

1. Фаробин Я.Е., Шупляков В.С. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
2. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.:Транспорт, 1967. – 225 с.
3. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – 137 с.
4. Вороніна І.Ф. До визначення показників маневреності триланкового автопоїзда // Вісник Національного транспортного університету. – 2004. – Вип. 9. – С. 165-170.
5. Фаробин Я.Е. Магистральные автопоезда. – М.: Транспорт, 1995. – 232 с.

Стаття надійшла до редакції 15.05.07

© Вороніна І.Ф., Сімон Д.Ф., 2007