

Леонт'єв¹ Д.М., Дячук² М.В., Лиходій² О.С., Малий² В.М., Мережко² С.В.
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет
²ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕОРЕТИЧНО НЕОБХІДНИХ КУТІВ ПОВОРОТУ КОЛІС НАПІВПРИЧЕПІВ

Запропонована методика визначення максимальних кутів повороту коліс керованих мостів напівпричепів за умов виконання вимог DIRECTIVE 2002/7/EC. Для цього, точка задавання траєкторії повинна знаходитись у геометричному центрі ведучого моста тягача (4×2), а точка слідування траєкторією на деякій відстані від заднього габариту напівпричепу. Встановлено характерну залежність зазначеної відстані від відносного параметру геометричних розмірів ланок автопоїзда.

Ключові слова: автопоїзд, керований напівпричіп, маневреність, кути повороту коліс, криволінійний рух, траєкторія, вісь нейтральної поворотності.

Постановка проблеми. Числові значення максимальних кутів повороту виконуючих елементів (ВЕ) системи керування поворотом СКП заданої причіпної ланки (ПЛ) залежать від розміщення керованих мостів відносно миттєвого центру повороту (МЦП) автопоїзду (АП) та конструктивних їх можливостей. Розглянемо механізм визначення координат розташування МЦП АП. Аналіз як вітчизняних, [2, 3], так і закордонних, [4], досліджень з цього приводу виявив відсутність не тільки методики, а й будь-яких рекомендацій щодо вирішення цього питання на початковій стадії. Так, автори робіт [1-3] пропонують визначати співвідношення кутів повороту ВЕ СКП ПЛ в залежності від передаточного відношення приводу, як функції геометричних, інерційних та експлуатаційних параметрів АП, або від режимного параметру (відношення кутової швидкості повороту керованих коліс ведучої ланки АП до його лінійної швидкості руху). Д. Себон у своїй роботі, [4], запропонував формування алгоритму керування поворотом ВЕ СКП ПЛ автопоїзду здійснювати за умови (рис. 1, б) повторення траєкторії руху центру зчипки ланок автопоїзду (точка задавання траєкторії (ТЗТ) центром заднього габариту ПЛ (точка слідування траєкторії (ТСТ)). Але, для практичного використання цієї ідеї з метою визначення максимальних значень кутів повороту ВЕ ПЛ не вистачає додаткових умов. Пропонується, в якості такої умови прийняти одне з обмежень, регламентоване DIRECTIVE 2002/7/EC, а саме – внутрішній габаритний радіус $R_{вг} = 5,3$ м. Якість визначення координат розташування МЦП буде оцінюватись іншим обмеженням зазначеної директиви – зовнішнім габаритним радіусом $R_{зг} = 12,5$ м.

У зв'язку з цим **метою роботи** є розробка методики визначення максимальних кутів повороту виконуючих елементів керованих напівпричепів, та визначення закономірностей між параметрами компоновки автопоїзда та параметрами, які визначаються за методикою, що пропонується.

Результати досліджень. Додавимо до існуючих визначень параметрів маневреності АП, [1], ще один параметр – вісь нейтральної поворотності (ВНП) – це пряма, вдовж якої переміщується МЦП при складанні ланок АП на різні кути. До того ж, графічним способом доведено наступне: від кута складання АП, будуючи коло через дві фіксовані точки, дотичне до подовжньої осі тягача, залежить відстань від отриманого (центр збудованого кола) МЦП до внутрішнього габариту напівпричепу. Для формування рис. 1 використані геометричні параметри АП DAF XF-95 + Fliegl, крім того, для ПЛ замість підтримуючих мостів при збереженні колії коліс та місця їх розташування використаємо керовані з поворотними колесами в якості ВЕ СКП за умови розташування шворнів під прямим кутом до опорної поверхні на відстані 134 мм від осі балки моста та 1456 мм між собою. Зважаючи на вище сказане, запропонуємо послідовність визначення максимальних значень кутів повороту ВЕ СКП ПЛ:

1) виконати креслення АП у масштабі (вид зверху) з урахуванням наступних умов: подовжні осі його ланок повинні співпадати, на кресленні відобразити габарити ланок АП, розташування керованих мостів із зазначенням центрів повороту ВЕ та некерованих, центр зчипки АП;

2) до схеми додати пряму лінію на відстані 5,3 м від внутрішнього габариту ПЛ у напрямку можливого розташування МЦП паралельно подовжній осі АП;

3) графічним способом повернути ведучу ланку АП відносно центру зчипки на будь-який кут при фіксованому положенні ПЛ;

4) попередньо приймемо місце розташування ТСТ у задньому звису ПЛ на її подовжній осі, або з рис. 3;

5) намалюємо коло, що проходить через ТЗТ (центр заднього моста двовісного тягача або точка, що знаходиться на рівній відстані між двома некерованими мостами тривісного тягача) та ТСТ, дотичне до подовжньої осі тягача;

6) отримана вертикальна вісь збудованого кола і є ВНП АП, перетинання її з горизонтальною лінією (другий пункт) дає МЦП, який визначає максимальні кути повороту ВЕ СКП ПЛ, дотримуючись вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC;

7) графічним способом повернути ведучу ланку АП відносно центру його складання при фіксованому положенні ПЛ на кут, який забезпечить положення відрізка від МЦП до ТЗТ під прямим кутом до осі тягача;

8) перевірити дотримання другої вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC ($R_{zg} = 12,5$ м), збудувавши коло відносно знайденого МЦП, дотичне до найбільш виступаючого зовнішнього габариту АП (рішення є прийнятним, якщо це коло дотичне одразу до зовнішніх габаритів ведучої та веденої ланок АП, якщо цього не вдається, необхідно повторити виконання пунктів від четвертого до восьмого, змінивши розташування ТСТ вдовж осі ПЛ);

9) максимальні кути повороту ВЕ визначаються за умови їх повороту відносно центрів (шворневі вузли) таким чином, щоб поперечна вісь контакту шини з опорною поверхнею в її площині проходила через МЦП. Надалі, знайдені значення максимальних кутів повороту можуть бути обмежені конструктивними можливостями балки керованого моста, при цьому зміщується МЦП від внутрішнього габариту ПЛ, та повторно виконуються сьомий та восьмий пункти.

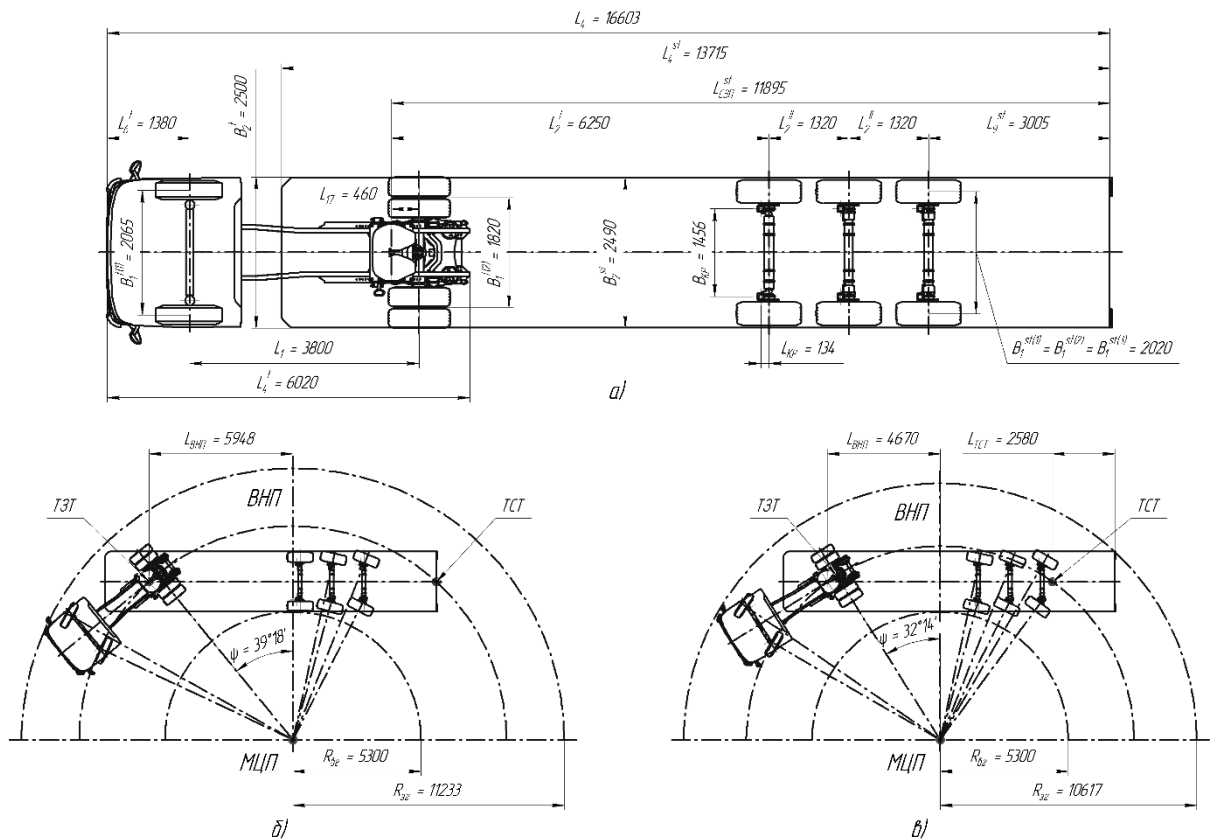


Рисунок 1. Визначення максимальних значень кутів повороту ВЕ СКП ПЛ за рекомендаціями D. Sebon та методикою, що пропонується

Так, для заданого АП, виконання вимог DIRECTIVE 2002/7/EC здійснюється за умови розташування ТСТ на відстані від заднього габариту ПЛ – 2580 мм (рис. 1, в), що дозволило визначити розташування ВНП на відстані 4670 мм від центру зчипки АП, та максимальні кути повороту коліс ПЛ (табл. 1).

До того ж, запропонована методика забезпечує зменшення зовнішнього габаритного радіусу повороту АП на 5,5 % у порівнянні з тим же параметром, визначеним за методикою D. Sebon. Також, її можна використовувати як попередній етап при розробці схем компоновки як напівпричепу так і тягача.

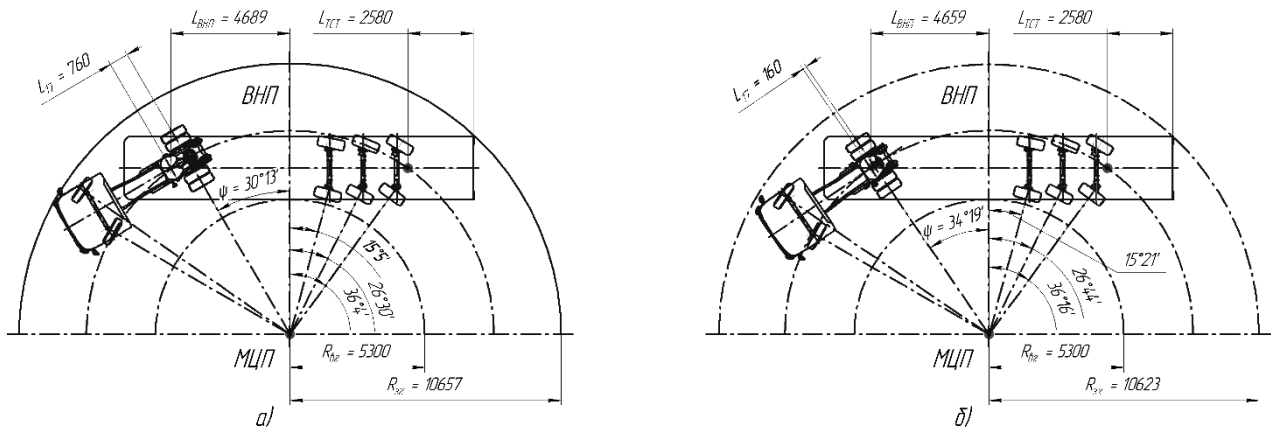
Таблиця 1.

Максимальні значення кутів повороту коліс ПЛ.

Методика	Перший міст		Другий міст		Третій міст	
	$\Theta_{зб(max)}^{st1}$	$\Theta_{вн(max)}^{st1}$	$\Theta_{зб(max)}^{st2}$	$\Theta_{вн(max)}^{st2}$	$\Theta_{зб(max)}^{st3}$	$\Theta_{вн(max)}^{st3}$
за Д. Себон	0°	0°	$12^\circ 36'$	$15^\circ 39'$	$22^\circ 7'$	$26^\circ 59'$
запропонована	$12^\circ 18'$	$15^\circ 16'$	$21^\circ 50'$	$26^\circ 39'$	$30^\circ 16'$	$36^\circ 12'$

Для спрощення механізму попереднього визначення координат розташування ВНП знайдемо взаємозв'язок між відстанню L_{TCT} та геометричними параметрами АП, до яких можна віднести: габаритні розміри як окремих ланок так і всього АП (L_4), відстань від осі ведучого моста тягача до центру сидельно-зчіпного пристрою (L_{17}), габаритна ширина кожної з ланок АП (B_2), а також, відстань від центру зчіпки АП до найбільшого габариту відповідної його ланки ($L_{C3П}$). Проаналізуємо можливість використання цих параметрів. Габаритна ширина АТЗ одного класу майже не відрізняється, тому цей параметр використовувати для нашої задачі не доцільно. Габаритну довжину, як параметр, теж не зручно використовувати, тому що при одних і тих же параметрах габаритної довжини як окремих ланок, так і АП у цілому результат визначення L_{TCT} буде залежить від розташування точки зчіпки. Що стосується інших параметрів, то вони використовуються при визначенні координат ВНП та, звісно, впливають на результат, надалі оцінимо величину їх впливу.

Для заданого АП зафіксуємо параметри $L'_{C3П}$ та $L^{st}_{C3П}$, а подовжню базу тягача та автоматично параметр L_{17} змінимо на 300 мм у двох напрямках (діапазон значень цього параметру для існуючих тягачів – 100...740 мм), до того ж, для тягача передбачено декілька місць розташування сидельно-зчіпного пристрою, графічно визначимо, на яку величину зміниться R_{3c} (рис. 2).

Рисунок 2. – Визначення впливу параметру на величину L_{TCT}

Як видно з рис. 2, а, при збільшенні L_{17} на 300 мм та фіксованому значенні $L_{TCT} = 2580$ мм величина зовнішнього габаритного радіусу повороту АП збільшилась на 0,38 %, максимальне зменшення кута повороту ВЕ СКП ПЛ склало $11'$, кут складання зменшився на 2° у порівнянні з базовим варіантом (рис. 1, в); при зменшенні L_{17} на 300 мм (рис. 2, б) та фіксованому значенні $L_{TCT} = 2580$ мм величина зовнішнього габаритного радіусу повороту АП збільшилась на 0,06%, максимальне збільшення кута повороту ВЕ СКП ПЛ склало $5'$, кут складання збільшився на 2° у порівнянні з базовим варіантом (рис. 1, в). Тобто, параметр L_{17} мало впливає на визначення L_{TCT} , залишилися тільки два параметра $L'_{C3П}$ та $L^{st}_{C3П}$. Для зручності проаналізуємо залежність L_{TCT} від відносного параметру $L'_{C3П}/L^{st}_{C3П}$, отримавши регресійні залежності для двох компонок тягача – капотної та безкапотної (рис. 3). Задача вирішувалась графічним способом за методикою, що пропонується, у наступній послідовності. Для статистичного дослідження вибрані чотирнадцять напівпричепів різного призначення окрім важкоавтомобілів. До кожної ПЛ, враховуючи вимоги ГОСТ 12105-74, вибрані сидельні тягачі капотної та безкапотної компонок за наступними критеріями: допустиме навантаження на сидельно-зчіпний пристрій тягача, типорозмір шин, безпечні відстані між тягачем та ПЛ при складанні АП. Наступним етапом, виконуючи усі пункти

запропонованої методики, знайдені координати розташування ТСТ, за якими збудований графік (рис. 3).

Параметр L_{TCT} , отриманий з графіка (рис. 3), є початковим, та потребує подальшого уточнення при графічному вирішенні задачі.

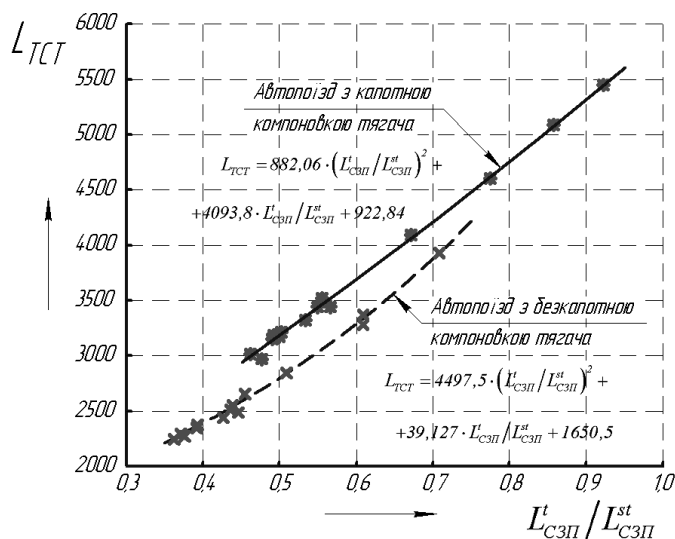


Рисунок 3. – Регресійні залежності розташування ТСТ в залежності від геометричних параметрів ланок АП:

Висновки. Статистичне дослідження довело дієздатність запропонованої методики визначення максимальних значень теоретично необхідних кутів повороту виконуючого елемента керованих напівпричепів. Отримані залежності (рис. 3) стануть у нагоді для попереднього визначення розташування миттєвого центру повороту автопоїзда.

1. Закин Я. Х. Маневренность автомобилей и автопоездов [Текст] / под общ. ред. Я. Х. Закина. – М.: Транспорт, 1986, – 137 с.

2. Поляков В. М. Математичне моделювання руху багатоланкових автопоїздів [Текст] / В. М. Поляков, О. М. Тімков, Д. Ю. Приходченко, М. І. Файчук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Науковий журнал. – Луганськ: ВСНУ ім. В. Даля, 2009. – №11(141). – С. 145-151.

3. Сахно В. П. К определению параметров закона управления полуприцепом седельного автопоезда / В. П. Сахно, В. М. Поляков, В. И. Сирота, В. М. Босенко, П. О. Гуменюк // Управление проектами, системный анализ и логистика. – К.: НТУ – 2013. – Вып. 12

4. Cheng C. «Improving roll stability of articulated heavy vehicles using active semi-trailer steering» [Text] / C. Cheng, D. Cebon // Vehicle System Dynamics. – 2008. –Vol. 46, Issue S1 & 2. – P. 373-388.

REFERENCES

1. Zakin, IY. Maneuverability of vehicle and articulated vehicle [Text] / under total. Ed. Zakin, IY. - M.: Transport, 1986 - 137 p.

2. Polyakov, V. Mathematical modeling of multiple-link articulated vehicle [Text] / Polyakov, V. & Timkov, V. & Prikhodchenko, D. & Faychuk, M. // Journal of East Ukrainian National University. V. Dal. Science journal.- Luhansk: VSNU IM. Dal, 2009. - №11 (141). - P. 145-151.

3. Sakhno, V. Determination of the parameters of the control law the semitrailer of the tractor-semi-trailer articulated vehicle / Sakhno, V. & Polyakov, V. & Sirota, V. & Vosenko, V. & Gumenyuk, P. // Project Management, systems analysis and logistics. - K.: NTU - 2013 - Vol. 12

4. Cheng C. «Improving roll stability of articulated heavy vehicles using active semi-trailer steering» [Text] / C. Cheng, D. Cebon // Vehicle System Dynamics. – 2008. –Vol. 46, Issue S1 & 2. – P. 373-388.

Леонтьев Д. Н., Дячук М. В., Лиходей А. С., Мальный В. Н., Мережко С. В. Методика определения максимальных значений теоретически необходимых углов поворота колес полуприцепов.

Предложена методика определения максимальных углов поворота колес управляемых мостов полуприцепов по условию выполнения требований DIRECTIVE 2002/7/ЕС. Для этого, точка задания траектории должна находиться в геометрическом центре ведущего моста тягача (4Ч2), а точка следования траекторией на некотором расстоянии от заднего габарита полуприцепа. Установлена зависимость указанного расстояния от относительного параметра геометрических размеров звеньев автопоезда.

Ключевые слова: автопоезд, управляемый полуприцеп, маневренность, углы поворота колес, криволинейное движение, траектория, ось нейтральной поворачиваемости.

D. Leontiev, M. Dyachuk, O. Likhodiy, V. Malyi, S. Merezko. Technique to determine the maximum value of the theoretical-needed trailer wheel steering angle.

The present article suggests the technique to determine the maximum steering angle of the steerable axle wheels for semi-trailer in accordance with DIRECTIVE 2002/7/EC. Therefore the lead point sets as a geometrical centre of the tractor driving axle (4Ч2) and the follow point locates at uncertain distance toward the mid point of the rear end of the trailer. As results established relations between above-mentioned distance and relative parameter of the geometrical dimensions of the articulated vehicle components.

Keywords: the articulated vehicle, the steerable semi-trailer, the maneuverability, the steering angle of the wheels, the curved motion, the trajectory, the neutral-steering axis.

АВТОРИ:

ЛЕОНТЬЄВ Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: *a3alij@i.ua*

ДЯЧУК Максим Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатації та ремонту машин», ДВНЗ ПДАБА, e-mail: *m_dyachuk@mail.ru*

ЛИХОДІЙ Олександр Сергійович, асистент кафедри «Експлуатації та ремонту машин», ДВНЗ ПДАБА, e-mail: *a_lichodey@mail.ru*

МАЛИЙ Віктор Миколайович, студент четвертого курсу спеціальності «Автомобілі та автомобільне господарство» ДВНЗ ПДАБА, e-mail: *VictorMaly@outlook.com*

МЕРЕЖКО Сергій Володимирович, студент четвертого курсу спеціальності «Автомобілі та автомобільне господарство» ДВНЗ ПДАБА, e-mail: *neimlolz@gmail.com*

АВТОРЫ:

ЛЕОНТЬЄВ Дмитрий Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, e-mail: *a3alij@i.ua*

ДЯЧУК Максим Викторович, к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатации и ремонта машин», ГВУЗ ПГАСА, e-mail: *m_dyachuk@mail.ru*

ЛИХОДЕЙ Александр Сергеевич, ассистент кафедры «Эксплуатации и ремонта машин», ГВУЗ ПГАСА, e-mail: *a_lichodey@mail.ru*

МАЛЫЙ Виктор Николаевич, студент четвертого курса специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» ГВУЗ ПГАСА, e-mail: *VictorMaly@outlook.com*

МЕРЕЖКО Сергей Владимирович, студент четвертого курса специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» ГВУЗ ПГАСА, e-mail: *neimlolz@gmail.com*

AUTHORS:

Dmitriy LEONTIEV, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of «Automotive vehicle» Department, Kharkov National Automobile and Highway University, e-mail: *a3alij@i.ua*

Maksym DYACHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of «Operation and Maintenance of Machines» Department, Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: *m_dyachuk@mail.ru*

Oleksandr LIKHDIY, Assistant of «Operation and Maintenance of Machines» Department, Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: *a_lichodey@mail.ru*

Viktor MALYI, A IV course student of the faculty of «Automobile and Automotive management» of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: *VictorMaly@outlook.com*

Sergiy MEREZHKO, A IV course student of the faculty of «Automobile and Automotive management» of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: *neimlolz@gmail.com*

Стаття надійшла в редакцію 27.09.2016 р.