

знайдено тріщини різного ступеню щодо зруйнування деталі. Звичайно розміри тріщин у масиві деталей вузлів тракторів різної тривалості експлуатації характеризуються неперервним розподілом. У даному випадку за допомогою комплексу ознак  $k$  отримано дискретне представлення розподілу. Таке нечітке представлення без зазначення лінійних розмірів тріщин зумовлено тим, що вузли трактора складаються з множини деталей різного поперечного перерізу в зонах поширення тріщин.

Аналізуючи розраховані ймовірності станів (перебуває у справному стані чи ні), можна оцінити наскільки збільшиться ймовірність виходу з ладу вузла. Наприклад, якщо у деталі є тріщина некритичного розміру (середня), то цей випадок характеризується комплексом ознак  $\bar{k}_1\bar{k}_2\bar{k}_3$ . Ці величини (зниження ймовірності працездатного стану вузла) відповідають збільшенню ймовірності виходу з ладу вузла і корелюють із зростанням ризику настання відмови.

Застосувавши методи логічного моделювання та задавши ймовірність настання базових подій  $E_i$  як умовні ймовірності виходу з ладу окремих вузлів, можна розрахувати ймовірності настання аварійних ситуацій на механізованих і транспортних роботах за участі тракторів.

Проведені дослідження показують, наскільки зростає ймовірність настання відмови, а значить й ризик невиконання машиною функцій, які визначені у нормативної документації і характеризують її працездатність.

Сахно Володимир Прохорович, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, svp\_40@ukr.net

Поляков Віктор Михайлович, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, poljakov\_2006@ukr.net

Шарай Світлана Михайлівна, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, svetasharai@gmail.com

Паламарчук Олексій Васильович, аспірант кафедри автомобілів, Національний транспортний університет

## **ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ-КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ ЗА МАНЕВРЕНІСТЮ**

За останні роки потужним імпульсом для збільшення довжини автотранспортних засобів (АТЗ), особливо автопоїздів, послужив розвиток перевезень вантажів у контейнерах, що змусило такі довжини погоджувати з розмірами універсальних контейнерів ISO. Контейнер є найбільш перспективним і поширеним багатооборотним засобом при виконанні мультимодальних перевезень вантажів. Контейнерні вантажні перевезення дволанковими, а в останні роки і триланковими автопоїздами, є найбільш популярними. Це пов'язано з відомими перевагами триланкових автопоїздів у порівнянні із дволанковими [1].

На сьогодні у конструкціях багатоланкових автопоїздів використовують причіпні та напівпричіпні компоновальні схеми. Тому виробники вантажних АТЗ та міських автобусів проектують конструкції ланок транспортних засобів великої місткості [2, 3]. Шарнірні з'єднання роблять довгі транспортні засоби універсальними у використанні та підвищують показники маневреності. Відомо, що взаємозв'язки між осями і між ланками транспортних засобів з декількома причепами можуть привести до коливань причепів під час маневрування АТЗ [4]. Чисельні результати, отримані для кінематики трьох причепів, підтверджують складність вирішення проблеми маневреності таких автотранспортних засобів. Тому типові кінематичні моделі багатоланкових автопоїздів будуть корисними при вирішенні таких завдань, як: формальний аналіз кінематичних властивостей, швидке планування номінальних маневрів, прогноз режимів руху тощо [4].

Метою роботи є порівняльний аналіз триланкових причіпних і напівпричіпних автопоїздів за маневреністю при виконанні перевезень трьох контейнерів, два з яких є 20-футовими і один – 40-футовий.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- вибір і обґрунтування компоновальних схем причіпних і напівпричіпних автопоїздів для виконання перевезень трьох контейнерів;
- вибір і обґрунтування показників та розробка математичної моделі для оцінки маневреності автопоїздів, що розглядаються;
- визначення впливу конструктивних і експлуатаційних параметрів на показники маневреності автопоїздів, що розглядаються.

Компоновальну схему як триланкового причіпного, так і напівпричіпного автопоїзда-контейнеровоза визначає положення напівпричепа (причепа) подовженої бази для перевезення 40-футового контейнера. Цей напівпричіп (причіп) може бути розташований попереду, в середині або в кінці автопоїзда. Від його розташування у значній мірі будуть залежати показники маневреності автопоїзда.

Раніше доведено, що попередньо показники маневреності автопоїзда можна визначати на жорстких у бічному напрямку колесах (похибка не перевищує 12,5 % [1]). Тоді основні показники маневреності – зміщення траєкторій напівпричепів щодо траєкторії автомобіля-тягача і габаритна смуга руху (ГСР) – будуть визначатися компоновальними параметрами автопоїзда, кутами складання його ланок, типом приводу управління керованими осями (колесами) причепів і напівпричепів і його передаточними відношеннями.

Криволінійний рух автопоїзда зазвичай характеризують швидкістю руху, радіусом повороту і кутами повороту керованих коліс, які в процесі руху змінюються. Для оцінки маневреності АТЗ використовують кінематичні та динамічні показники. Кінематичні показники повинні забезпечити:

- габаритну смугу руху (визначається різницею нормованих зовнішнього ( $R_{zg}=12,5$  м,) і внутрішнього ( $R_{vg}=5,3$  м) габаритних радіусів повороту) дорівнює ( $B_{\gamma}=7,2$  м);
- можливість рухатися заднім ходом.

Динамічні показники забезпечуються системою «двигун-трансмсія» автомобіля-тягача.

Попередніми дослідженнями [1] доведено, що маневреність триланкового автопоїзда визначається, в основному, зміщеннями траєкторій причепів (напівпричепів) щодо траєкторії тягача. Тоді при визначенні кутів складання триланкового автопоїзда будуть розглядатися послідовно системи, що складаються із автомобіля-тягача і першого причепа (напівпричепа), першого причепа (напівпричепа) з другим причепом (напівпричепом), а потім другого і третього причепів (напівпричепів).

Приймаючи до уваги відомі із кінематики залежності [2-4] і результати роботи [1], отримані рівняння, що визначають кути складання ланок автопоїзда. Кути складання ланок автопоїзда і повороту керованих осей (пов'язані між собою передаточним відношенням приводу управління) доцільно визначати за колового руху автопоїзда. Саме для цього визначені кути складання і повороту керованих осей (коліс) причепів (напівпричепів) в залежності від кута повороту керованих коліс автомобіля-тягача.

За знайденими кутами складання і передаточними відношеннями приводу управління на керовані осі (колеса) причіпних ланок визначені габаритні радіуси повороту автопоїзда і узагальнюючий показник маневреності – габаритна смуга руху. Показано, що жодна із компоновальних схем триланкового причіпного автопоїзда (окрім автопоїзда з рознесеними і керованими осями усіх причіпних ланок) не задовольняє вимогам DIRECTIVE 2002/7/EC щодо маневреності. Зважаючи на характер роботи таких автопоїздів (рух між терміналами на в'їзді до міста), більш важливими є параметри маневреності автопоїзда при типових поворотах на  $90^0$  і  $180^0$ . Для таких поворотів усі причіпні автопоїзди задовольняють вимоги DIRECTIVE щодо маневреності.

В дослідженнях були розглянуті три можливі компоновальні схеми триланкових автопоїздів типу V-triple, кожна з яких визначалася розташуванням напівпричепа з підвищеною базою (для 40-футових контейнерів) і приводом на передню або на задню вісь возика напівпричепа. Встановлено, що жоден з автопоїздів не відповідає вимогам Директиви ЄС щодо маневреності. Для остаточного рішення щодо перспективності компоновальної схеми триланкового автопоїзда-контейнеровоза необхідними є дослідження стійкості таких автопоїздів.

**Висновки.**

1. Визначені показники маневреності триланкових автопоїздів на жорстких у бічному напрямку колесах (за кінематичними моделями, в основі яких лежать кути складання ланок автопоїзда). Ці кути визначені для різних стадій повороту для триланкового причіпного і напівпричипного автопоїздів за різного розташування подовженої ланки. Так, на вході в поворот перший і другий кути складання причіпного автопоїзда на 12% і 15% менші другого і третього кутів складання напівпричипного автопоїзда. Це співвідношення зберігається з незначними відхиленнями (5-7%) і для інших стадій повороту.

2. Показано, що жодна з компоновальних схем триланкових автопоїздів, окрім автопоїзда з рознесеними і керованими осями причіпних ланок, не задово-

льняє вимогам DIRECTIVE 2002/7/EC щодо маневреності. При поворотах на  $90^{\circ}$  і  $180^{\circ}$  причіпні автопоїзди усіх компоновальних схем, на відміну від напівпричіпних схем, майже усі задовольняють вимогам DIRECTIVE 2002/7/EC.

3. Встановлено, що за керованих перших осей другого і третього напівпричепів, у порівнянні із некерованим автопоїздом, габаритна смуга руху за колового руху зменшується на 10...12%, проте усі автопоїзди не задовольняють вимогам щодо маневреності.

### Перелік посилань

1. В.М. Поляков, В.П. Сахно. Триланкові автопоїзди. Маневреність. Київ. Національний транспортний університет. 2013. – 200 с.: іл.

2. G. Leduc. Longer and Heavier Vehicles. An overview of technical aspects. Technical Report EUR 23949 EN, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg, 2009.

3. Parallel Design Optimization of Multi-Trailer Articulated Heavy Vehicles with Active Safety Systems/ву Md. Manjurul Islam //University of Ontario Institute of Technology Oshawa, Ontario, Canada, 2013.

4. F. Gottmann, H. Wind, and O. Sawodny. On the influence of rear axle steering and modeling depth on a model based racing line generation for autonomous racing. In IEEE CСТА, pages 846–852, Copenhagen, 2018.

Шемигон Артем Олександрович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Коробко Андрій Іванович, д-р техн. наук., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ak82andrey@gmail.com

### ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ЯКОСТЕЙ ТРАКТОРІВ

Багато країн, що не є членами ОЕСР, до яких відноситься Україна, частково або повністю використовують Кодекси для випробувань, проведення тендерів або регулювання питання імпорту тракторів. В даному напрямку виконано ряд наукових робіт в Харківській філії УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, що покладені в основу дослідження технологічної адаптації тракторів. При цьому, трактор, за аналогією із суміжними областями техніки, розглядається як «Система з безліччю елементів, певним чином взаємопов'язаних і утворюють певну цілісність, єдність». Для тракторів під час оцінювання їх тягових властивостей, керованості та стійкості руху, гальмівних властивостей, які є основою їх експлуатаційних якостей, ефективним є метод парціальних прискорень, що базується на розв'язанні зворотної задачі динаміки: за відомого прискорення оцінюються діючі сили. Одночасно необхідно відзначити, що оцінити експлуатаційні властивості трактора не завжди можливо за діючими силами, наприклад енергетичні показники тракторного агрегату. Для розв'язання даної проблеми