

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ АВТОПОЇЗДА-КОНТЕЙНЕРОВОЗА

Доктор технічних наук Сахно В.П.,  
Гуменюк П.О., Марчук Р.М., Придюк В.М.

*У статті наведені результати експериментальних досліджень маневреності автопоїзда-контейнеровоза, характерною рисою якого є розташування сидельно-зчіпного пристрою за межами подовженої бази автомобіля-тягача*

*In the articles resulted results of experimental researches of manoeuvrability of lorry convoy personal touch of which is a location of saddle-coupling device outside the prolonged base of car-tractor*

**Постановка проблеми.** У роботах [1-3] описані конструкція автопоїзда-контейнеровоза, математична модель для визначення показників маневреності, розрахунки показників маневреності та їх аналіз. Аналітичні дослідження показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза проведені при деяких допущеннях, зокрема, про характер залежності та величини кута бічного відведення від бічної сили, про величину моменту інерції кожної ланки, про можливість застосування «плоскої» розрахункової схеми автопоїзда тощо. Тому **метою** експериментальних досліджень стала перевірка адекватності розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку параметрів маневреності автопоїзд-контейнеровоза.

**Основна частина.** В задачі експериментальних досліджень автопоїзда входило визначення показників маневреності автопоїзда за виконання ним різних маневрів.

У якості об'єкта експериментальних досліджень був автопоїзд-контейнеровоз, створений у Луцькому національному технічному університеті [1, 2]. Цей автопоїзд складався із сидельного тривісного серійного автомобіля тягача КамАЗ-5410 і напівпричепа ОдАЗ-9370, рис.1. На шасі автомобіля-тягача передбачається встановлювати 20-футовий контейнер, а на рамі напівпричепа — 40-футовий контейнер.



Рис. 1. Експериментальний автопоїзд-контейнеровоз

Для проведення експериментальних досліджень на полігоні Луцького національного технічного університету була нанесена відповідна розмітка. Програма експериментальних досліджень автопоїзда-контейнеровоза передбачала виконання різних видів маневрів, зокрема рух по колу, повороти на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ , «S-подібному», «переставка», маневр ISO.

Основним ціночним критерієм маневреності є габаритна смуга руху (ГСР) автопоїзда. При випробуваннях «поворот на  $180^\circ$ » додатковим оціночним критерієм буде величина ширини коридору, необхідного для розвороту автопоїзда-контейнеровоза.

Для проведення експериментальних досліджень було створено комплекс обладнання, яке складається з персонального комп'ютера, аналого-цифрового перетворювача L-CARD E14-140, акселерометрів MMA7260QR2 виробництва фірми Freescale Semiconductor, датчика переміщення підвіски WABCO №441

050 100 0 (працює за принципом кута повороту), датчика кута повороту керованих коліс та датчика кута складання ланок автопоїзда, функції яких виконує датчик WABCO №441 050 100 0 [1, 2].

Програмна частина вимірювального комплексу складається з програми PowerGraph для роботи з АЦП. Програмне забезпечення «PowerGraph» призначено для реєстрації, візуалізації, обробки та зберігання аналогових сигналів, записаних за допомогою різних пристроїв збору даних, і дозволяє використовувати персональний комп'ютер в якості стандартних вимірювальних та реєструючих приладів (вольтметрів, самописців, осцилографів, спектроаналізаторів та ін.).

Крім того, при випробуваннях маневрених властивостей використовувалися гідравлічні відмітки траєкторії, а для визначення швидкості входу в маневр — фотоствори.

Виміри кутів повороту, складання ланок автопоїзда, прискорень, шляху, швидкості руху здійснювалися спеціальними датчиками, що перетворюють ці величини в електричні сигнали, реєстрація й опрацювання яких здійснювалася за допомогою бортового обчислювального комплексу на базі ПК.

Програма випробувань автопоїзда складалася із двох частин. У першій частині програми при визначенні показників маневреності проводилися такі дослідження:

— усталений рух по колу, «поворот на 90°», «поворот на 180°» (рис. 4.11), «поворот на 270°» і «S-подібний поворот».

У другій частині випробувань дослідження включали:

— зміна смуги руху («переставка»), рис. 4.12; «маневр ISO», вхід і рух на повороті («поворот»);

Дорожні випробування проводилися на рівній асфальто-бетонній площадці розміром 100x120 м, що розташована на полігоні ЛНТУ і рівній горизонтальній асфальтованій дорозі Луцьк-Рівне (31...35 кілометри).

Методикою виконання кожної із робіт передбачалося три повторності дослідів (якщо це не обумовлювалося умовами виконання того чи іншого етапу експериментальних досліджень). У якості результуючого приймалося середнє значення по всіх повторностях.

У результаті виконання першої частини експериментальних досліджень «усталений рух по колу, «поворот на 90°», «поворот на 180°», «поворот на 270°» і «S-подібний поворот» утворювалися масиви даних із записом кутів складання автопоїзда, кута повороту керованих коліс тягача, а також дані про шлях автопоїзда на криволінійній траєкторії при незмінному положенні керованих коліс тягача протягом кожного заїзду, що відповідали певному радіусу кола. Опрацювання масиву даних полягало у визначенні дійсних значень кутів при проходженні тягачем і напівпричепом кожного повного кола, а також при повороті автопоїзда на 90°, 180° та 270° та при виконанні «S-подібного повороту». За отриманими значеннями кута повороту керованих коліс автомобіля-тягача і кутів складання, при наявності траєкторій характерних точок ланок автопоїзда, отриманих за допомогою гідравлічних датчиків, обчислюються габаритні радіуси повороту і габаритна смуга руху, табл. 1

Таблиця 1

Габаритна смуга руху автопоїзда

Максимальна ширина ГСР, м, при русі								
по колу			при повороті на 180°			При повороті на 90°		
Експеримент	Розрахунок по кінематичній моделі	Розрахунок по дифер. рівнянням	Експеримент	Розрахунок по кінематичній моделі	Розрахунок по дифер. рівнянням	Експеримент	Розрахунок по кінематичній моделі	Розрахунок по дифер. рівнянням
7,96	7,59	7,76	7,65	7,36	7,43	7,55	7,70	7,62

За результатами першої частини експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

— на неусталених поворотах автопоїзда-контейнеровоза зсув траєкторії напівпричепа щодо траєкторії тягача значно менший у порівнянні з усталеним поворотом;

— відведення коліс автопоїзда призводить до збільшення зсуву напівпричепа щодо траєкторії тягача як на вході в поворот, та і на виході з повороту, а відповідно і до збільшення габаритної смуги руху;

— зсув траєкторії напівпричепа збільшується зі збільшенням швидкості руху автопоїзда;

— на розмір зсувів траєкторій руху напівпричепа щодо траєкторії тягача значно впливає режим неусталеного повороту тягача: із збільшенням режимного коефіцієнта повороту  $K_n$  зсув збільшується, і навпаки, при зменшенні  $K_n$  — зсув зменшується. Це підтвердило прийняте в аналітичних дослідженнях кінематики автопоїзда допущення, що найбільш екстремальні умови повороту мають місце при режимному коефіцієнті  $K_n = \infty$ ;

— обмежуючим фактором при виконанні маневру ISO є порушення стійкості руху. Так, уже за швидкості 30 км/год спостерігався вихід тягача за межі смуги руху, а на швидкості 40 км/год — відрив колеса напівпричепа від опорної поверхні;

— експлуатаційні чинники, що мають місце при криволінійному русі у реальних дорожніх умовах, не порушують основні кінематичні співвідношення для автопоїзда-контейнеровоза, що отримані аналітичним методом. Це дозволяє рекомендувати результати досліджень для інженерних розрахунків показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза за кінематичною моделлю.

Співставляючи дані аналітичних [3] і експериментальних досліджень, можна відзначити задовільну збіжність результатів як при застосуванні кінематичної моделі, так і моделі, що враховує бічне відведення шин та сили і моменти, що діють на автопоїзд при повороті. Так, максимальні відхилення у визначенні ГСР при русі по колу, повороті на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  склали 8,32% при застосуванні кінематичної моделі і 4,75% — для моделі, що враховує бічне відведення шин та сили і моменти.

При виконанні маневру «переставка» були отримані дані про кінематичні параметри автопоїзда і швидкість виконання маневру, що характеризується часом перехідного процесу.

Значення граничних швидкостей при виконанні автопоїздом-контейнеровозом маневрів «переставка» довжиною 24 м і поворот радіусом 35 м приведені у табл. 2. Там же приведені нормативні значення граничних швидкостей [4]. При маневрі «переставка» гранична швидкість автопоїзда-контейнеровоза обмежувалася заносом напівпричепа і виходом його за межі розміченої траєкторії. При маневрі «поворот» гранична швидкість автопоїзда також обмежувалася відривом коліс напівпричепа і небезпекою його перекидання. Проте швидкість, за якої виконувався цей маневр, перевищує її нормоване значення, тобто можна вважати, що автопоїзд-контейнеровоз при виконанні маневру «переставка» задовольняє нормативним вимогам. Максимальна розбіжність у визначенні критичної швидкості руху (за впливом напівпричепа) не перевищує 8,7%, що також свідчить про адекватність розробленої динамічної моделі автопоїзда.

Аналогічні результати були отримані і при виконанні маневру «поворот  $R=25$  м» з тією різницею, що швидкість виконання маневру зменшувалася у середньому на 22...24%. Отже, можна вважати, що керованість автопоїзда-контейнеровоза при виконанні маневрів «переставка» і «поворот» є цілком достатньою.

Таблиця 2

*Значення граничних швидкостей автопоїздів при виконанні маневрів переставка і поворот, км/год*

Автопоїзд	“Переставка”		“Поворот $R=35$ м”	
	дані Випробувань	нормативні значення	дані Випробувань	нормативні значення
Автопоїзд- контейнеровоз	53,2	50,0	48,8	46,0

Маневр ISO виконувався автопоїздом-контейнеровозом за різних швидкостей його руху. Результати експериментальних досліджень порівнювалися з результатами розрахунку параметрів руху автопоїзда.

За швидкості руху 5 м/с автопоїзд-контейнеровоз як за результатами розрахунків, так і експерименту вписується у нормований коридор руху. Проте за швидкості 10 м/с уже спостерігаються коливання ланок автопоїзда, проте автопоїзд ще залишається в межах коридору. При цьому і величини бічних прискорень, що діють у центрах мас тягача і напівпричепа автопоїзда, за швидкості 10 м/с залишалися у межах допустимих, а при швидкості 15 м/с уже перевищували порогове значення ( $4,5 \text{ м/с}^2$ ).

Виходячи з наведених результатів даного етапу експериментального дослідження можна зробити наступні висновки:

— при виконанні маневру «переставка» довжиною 24 м і поворот радіусом 35 м приведені гранична швидкість автопоїзда-контейнеровоза обмежувалася заносом напівпричепа і виходом його за межі розміченої траєкторії, проте швидкість, за якої виконувався цей маневр, перевищує її нормоване значення,

тобто можна вважати, що автопоїзд-контейнеровоз при виконанні маневру «переставка» задовольняє нормативним вимогам;

— при виконанні маневру ISO за швидкості руху 5 м/с автопоїзд-контейнеровоз вписується у нормований коридор руху. Проте за швидкості 10 м/с уже спостерігаються коливання напівпричепа, а на швидкості 15 м/с ці коливання перевищують допустимі;

— обмежуючим фактором виконання маневру є величина прискорень, що діють у центрі мас напівпричепа, яка на 24-35% більше за прискорення у центрі мас тягача.

Для дослідної експлуатації таких автопоїздів необхідно провести комплекс досліджень і виявити такі параметри конструкції тягача і напівпричепа, які забезпечили б як необхідні параметри маневреності, так і стійкості руху.

### Висновки.

Проведеними експериментальними дослідженнями автопоїзда-контейнеровоза показано, що за основними оціночними показниками маневреності він відповідає діючим нормативним документам. Співставляючи дані аналітичних і експериментальних досліджень, можна відзначити задовільну збіжність результатів як при застосуванні кінематичної моделі, так і моделі, що враховує бічне відведення шин та сили і моменти, що діють на автопоїзд при повороті. Так, максимальні відхилення у визначенні ГСР при русі по колу, повороті на 90°, 180° склали 8,32% при застосуванні кінематичної моделі і 4,75% — для моделі, що враховує бічне відведення шин та сили і моменти. Цим підтверджується можливість використання розроблених методик для визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза як з керованою третьою віссю автомобіля-тягача, так і з керованим напівприцепом.

При виконанні маневру «поворот» автопоїздом-контейнеровозом радіусом 25 і 35 м встановлено, що максимальна розбіжність у визначенні критичної швидкості руху (за впливом напівпричепа) не перевищує відповідно 8,7% і 9,9%, що також свідчить про адекватність розробленої динамічної моделі автопоїзда.

### Література

1. Придюк В.М. Експериментальна установка автопоїзда-контейнеровоза для дослідження його маневреності / В.М.Придюк//Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). — Вип. 28 (травень 2010). — Луцьк. — 2010. С. 466-472.
2. Онищук В.П. Автоматизований комплекс для дослідження показників руху експериментального автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Онищук //Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). — Вип. 28 (травень 2010). — Луцьк. — 2010. С. 466-472.
3. Сахно В.П. До визначення показників маневреності і стійкості руху автопоїзда контейнеровоза /В.П.Сахно, Р.М.Марчук, В.П. Онищук, В.М. Придюк//Вісник Житомирського державного технологічного університету. — №2(53) — 2010. -С. 127-134
4. Фаробин Я.Е., Якобашвили А.М., Иванов А.М. и др. Трехзвенные автопоезда // Машиностроение, 1993, — 224с.

УДК 629.113

## ДО ВИНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ АВТОПОЇЗДА ПРИ РУСІ ЗАДНІМ ХОДОМ

Доктор технічних наук Сахно В.П.,  
доктор фізико-математичних наук Вербицький В.Г.,  
Гуменюк П.А.

*У статті намічений шлях визначення раціональних значень конструктивних параметрів (шляхом введення крутильної жорсткості між напівприцепом і тягачем в точці зчипки і вибору закону управління поворотом коліс напівпричепа), що забезпечують стійкі режими при русі заднім ходом.*

*The way of determination of rational values of structural parameters (by introduction of turning inflexibility between a semitrailer and tractor in the point of coupling and choice of law of management the turn of wheels of semitrailer) which provide the steady modes at motion a back-draught is set in the article.*