

УДК 629.3.017

Р.М.Кузнєцов, В.П.Онищук, В.М.Придюк
Луцький національний технічний університет**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТІЙКОСТІ
АВТОПОЇЗДА-КОНТЕЙНЕРОВОЗА У ПРЯМОЛІНІЙНОМУ РУСІ**

В роботі наведено результати експериментальних досліджень стійкості автопоїзда-контейнеровоза у прямолінійному русі і проаналізовано фактори, що впливають на його стійкість.

Ключові слова: автопоїзд-контейнеровоз, критична швидкість руху, коливальна нестійкість.

При перевезеннях усієї гами контейнерів (від 20 до 40 футів) не повністю використовується нормована довжина автопоїзда (в Україні – 22 м). Крім того, при перевезеннях легких вантажів також не повністю використовується і максимально допустима маса автопоїзда (40-42 т). Тому доцільним є розробка конструкції автопоїзда-контейнеровоза, яка могла б нівелювати ці недоліки. Основними напрямками розробки такої конструкції є збільшення бази автомобіля для розміщення на ньому 20-футового контейнера, а також сидельно-зчіпного пристрою для напівпричепа, здатного 40-футовий контейнер. Загальна довжина такого автопоїзда не перевищує 22 м [1]. Проте винос точки зчипки тягача з напівприцепом за межі бази автомобіля-тягача може призвести до погіршення стійкості руху, особливо прямолінійного руху, в якому досягаються найбільші швидкості руху. Тому **метою роботи** є експериментальна перевірка стійкості руху автопоїзда-контейнеровоза у прямолінійному русі.

Основна частина. Оскільки математичне моделювання руху автопоїзда-контейнеровоза проводилося із застосуванням цілого ряду припущень [2], зокрема що стосується законів бічного відведення коліс, то метою експериментальних досліджень є перевірка адекватності розробленої математичної моделі і точності комп'ютерного моделювання.

У зв'язку з цим, до задач експериментального дослідження входила перевірка адекватності математичної та комп'ютерної моделі руху автопоїзда-контейнеровоза та визначення показників стійкості автопоїзда-контейнеровоза у прямолінійному русі.

За прямолінійного руху ("пряма") кутові і лінійні відхилення ланок автопоїзда характеризують курсову стійкість і керованість АТЗ. Оціночними параметрами курсової стійкості прийняті максимальні відхилення траєкторії руху напівпричепа від траєкторії автомобіля-тягача і середня швидкість їх бічного зміщення, яка визначалася за виразом:

$$V = \gamma_o V_a,$$

де V_a – швидкість руху автомобіля-тягача уздовж заданого напрямку; γ_o – середній інтегральний кут відхилення подовжніх осей причіпних ланок від прямолінійного руху автомобіля-тягача;

$$\gamma_o = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} (\lambda) d\gamma,$$

де γ – поточний кут відхилення подовжньої осі причіпних ланок від прямолінійного руху; t_0-t_1 – час руху по ділянці.

Керованість автомобільного поїзда за руху по "прямій" оцінюється середньою швидкістю виконання коректуючих маневрів рульовим колесом $\frac{\sum \alpha_p}{t}$, яка визначається відношенням сумарного кута повороту рульового колеса за весь цикл випробувальних заїздів до сумарного часу виконання цих заїздів, тобто

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\sum \alpha_p)_i}{\sum_{i=1}^n t_i},$$

де t_i – час виконання i -ого випробувального заїзду;

n – число залікових заїздів.

Швидкість руху автопоїзда на прямолінійній ділянці дороги приймалася у відповідності

до рекомендацій роботи [3] і складала $V_a=40$ км/год, $V_a=60$ км/год, $V_a=80$ км/год і максимальна.

Послідовність проведення кожного заїзду містила в собі розгін на підготовчій частині експериментальної ділянки до заданої швидкості і рух з заданою швидкістю експериментальною ділянкою довжиною 500 м. Для забезпечення прямолінійного руху автомобіля-тягача на поверхні дороги через 25 м встановлювалися створні знаки, які утворювали коридор руху і були добре видні водію. Відхилення траєкторії руху автомобіля-тягача від прямолінійної враховувалися за наступного опрацювання даних датчика складання автопоїзда, фотографій і записів на ПК.

У процесі експериментальних досліджень реєстрація усіх параметрів здійснювалася за допомогою вимірювально-обчислювального комплексу на базі ПК [4]. Опрацювання отриманих даних провадилося такими методами:

- значення кутів повороту керованих коліс автомобіля-тягача, складання автопоїзда визначалися за їх абсолютними величинами шляхом перерахунку через масштабні коефіцієнти і фіксувалися безпосередньо на ПК;

- шлях, що проходив автопоїзд у різних режимах руху, визначався за числом відміток п'ятого колеса безпосередньо на ПК;

- швидкість руху автопоїзда визначалася за шляхом і часом руху безпосередньо на ПК;

- бічне прискорення і сповільнення визначалася безпосередньо на ПК;

- крен кузова автомобіля-тягача і напівпричепа визначався за вертикальними переміщеннями підвісок усіх коліс причепа.

Під час виконання експериментальних досліджень шляхом машинного опрацювання даних випробувань були отримані значення кута повороту рульового колеса α , кута складання ланок автопоїзда φ_1 (кут між поздовжніми осями тягача і напівпричепа), кутової швидкості повороту тягача, бічного прискорення центра мас тягача \dot{v}_{y1} і напівпричепа \dot{v}_{y2} , бічних переміщень тягача і напівпричепа за швидкості автопоїзда $v_a=40\dots 80$ км/год. При цьому відзначена незначна відмінність параметрів руху напівпричепа від нульових значень, зокрема кут складання автопоїзда φ_1 практично дорівнює нулю.

Діапазони зміни параметрів під час виконання маневру “пряма” (середні значення у чисельнику) і їх розрахункові значення для експериментального автопоїзда за швидкості 50 км/год наведені у табл. 1.

Аналіз розрахункових і експериментальних значень окремих параметрів показує на задовільну збіжність. Максимальні відхилення у визначенні кута складання не перевищили 6,2%; кутової швидкості тягача – 7,3%, напівпричепа – 8,5%; бічних переміщень центра мас тягача – 6,6% і напівпричепа – 7,7%, швидкості бічного переміщення центра мас тягача – 6,2%, напівпричепа – 8,3%; бічних прискорень тягача 6,3%, напівпричепа – 7,3%, що свідчить про адекватність розробленої просторової моделі автопоїзда.

Під час виконання маневру “пряма” відзначена незначна відмінність параметрів руху напівпричепа щодо автомобіля-тягача. Під час створення збурювань (переїзд через нерівність, невеликий ривок руля) відзначалися сплески записуваних параметрів, що потім швидко гасилися. За закріпленого рульового колеса параметри руху мали приблизно такі ж значення, як і без обмежень на використання рульового колеса. З підвищенням швидкості відзначалося деяке збільшення амплітуд параметрів. Так, ще за швидкості 70 км/год значення амплітуд залишалися невисокими і спостерігався стійкий, без видимих вилянь, рух автопоїзда-контейнеровоза. Проте, під час збільшення швидкості автопоїзда до 80 км/год мали місце значні поперечні горизонтальні коливання, наявні труднощі в керуванні автопоїздом і в утриманні його в заданому коридорі руху. Розмахи вилянь напівпричепа досягали 0,3–0,5 м. Під час переїзду через нерівності відзначався сильний сплеск амплітуд коливань, аж до відриву коліс напівпричепа від дороги, що вказує на необхідність проведення додаткових розрахунково-теоретичних досліджень і вироблення відповідних рекомендацій для підвищення стійкості.

Таблиця 1.

Параметри руху "пряма" автопоїзда-контейнеровоза

Параметри	Швидкість руху автопоїзда, км/год					
	40	50	60	65	70	75
Кут повороту рульового колеса α , °	15...18	19/18	22...23	22...25	24...28	27...31
Кут повороту керованих коліс тягача, θ°	0,5...0,8		0,8/0,9		0,5...0,9	
Перший кут складання, φ_1	0,6...0,9		0,76/0,81		0,6...0,9	
Кутова швидкість повороту тягача, $^\circ/\text{с}$	1,2...1,3	1,40/1,51	1,4...1,6	1,5...1,7	1,6...1,8	1,6...1,9
Кутова швидкість повороту н/п, $^\circ/\text{с}$	1,3...1,5	1,69/1,85	1,7...1,9	1,8...2,1	2,0...2,4	1,5...1,7
Бічне переміщення центра мас н/п, м	0,05...0,08	0,084/0,091	0,11...0,13	0,14...0,16	0,17...0,18	0,16...0,19
Швидкість бічного переміщення центра мас тягача, м/с	3,1...3,9	4,42/4,71	4,8...5,3	5,8...6,9	7,1...7,5	8,2...8,5
Швидкість бічного переміщення центра мас н/п, м/с	3,5...4,3	5,38/5,87	5,5...5,9	6,6...7,1	7,6...7,8	8,9...9,1
Бічне прискорення центра мас тягача, \dot{v}_{y1} , м/с ²	0,3...0,4	0,45/0,48	0,5...0,6	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7
Бічне прискорення центра мас напівпричепа, \dot{v}_{y2} , м/с ²	0,4...0,5	0,55/0,51	0,5...0,6	0,6...0,7	0,6...0,7	0,6...0,7

Висновок. Під час руху автопоїзда з максимальною швидкістю (80 км/год) спостерігалися незначні коливання напівпричепа, що свідчило про появу коливальної нестійкості автопоїзда. Разом з тим, за результатами розрахунків швидкість появи коливальної нестійкості автопоїзда у складі автомобіля-тягача КамАз-53212 і напівпричепа Kaiser S38EL1A складає 87,56 км/год, тобто за результатами розрахунків критична швидкість на 8,6% більша, ніж під час проведення експериментів. Це необхідно враховувати в рекомендаціях щодо режимів руху автопоїзда-контейнеровоза.

Проведені експериментальні дослідження стійкості автопоїзда-контейнеровоза у прямолінійному русі показали задовільну збіжність результатів розрахункових та експериментальних досліджень.

1. Сахно В.П. До визначення конструктивних і компоновальних параметрів автопоїзда-контейнеровоза /В.П.Сахно, В.П.Онищук, В.М. Придюк // Вісник Національного транспортного університету.–К., НТУ, 2009.- Вип. 19. – С.80-83.
2. Сахно В.П. Аналіз стійкості і маневреності сідельного автопоїзда з системою управління кутами складання його ланок / В.П. Сахно, В.Г. Вербицький, О.А. Енглезі, В.М. Сондак // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ЦНЦ ТАУ. –2006. – Окремий випуск №9. – С. 85–89.
3. Фаробин Я.Е. Трехзвенные автопоезда / [Я.Е. Фаробин, А.М. Якобашвили, А.М. Иванов и др.]; под общ. ред. Я.Е. Фаробина – М: Машиностроение, 1993. – 224 с.
4. Онищук В.П. Автоматизований комплекс для дослідження показників руху експериментального автопоїзда-контейнеровоза / В.П. Онищук // Луцький національний технічний університет: Наукові нотатки. – Луцьк. – 2011. – С. 281–28