

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ЧОТИРИВІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В РАЗІ ВИХОДУ З ЛАДУ ОДНОГО З КОНТУРІВ ЙОГО РОБОЧОЇ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ

Леонтєєв Д. М.¹, Тімонін В. О.¹, Савчук А. Д.², Губарьков С. С.²

¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

² Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

Анотація. В роботі проаналізовано результати дослідження ефективності гальмування багатовісних транспортних засобів у разі виходу з ладу одного з його контурів гальмового приводу. Проведено математичне моделювання динаміки руху чотирьохвісного колісного транспортного засобу та визначено величину його уповільнення при різних схемах розташування мостів відносно центру його ваги та схеми з'єднання контурів з гальмовими механізмами при використанні двосекційного та трисекційного гальмового крану. Описано результати імітаційного моделювання та визначено найбільш раціональні схеми контурів при яких можливе досягнення величини уповільнення в $2,5 \text{ м/с}^2$ транспортного засобу в разі виходу з ладу його робочої гальмової системи.

Ключові слова: гальмова система, ефективність дії гальм, моделювання, динаміка гальмування, запасна гальмова система, гальмування, гальмовий привід, контур гальмового приводу.

Вступ

Відомо, що від справності гальмового керування залежить безпека водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху [1-6]. Також відомо, що колісний транспортний засіб (КТЗ) не може бути допущений до експлуатації, якщо в нього відсутня хоча б одна з наступних гальмових систем: робоча, стоянкова або запасна (аварійна) [5, 7 - 9], а у разі експлуатації його в гірській місцевості, також допоміжна гальмова система. Крім того в залежності від призначення транспортного засобу він може додатково бути обладнаний системою керування гальмами причепа або напівпричепа та/або зупинковою гальмовою системою. Незважаючи на кількість встановлених на транспортний засіб гальмових систем, вони складаються з двох основних структурних елементів, це гальмовий привід та гальмові механізми. Гальмові приводи за принципом передачі енергії бувають механічні, пневматичні, гідравлічні, електричні або комбіновані. В якості гальмових механізмів використовуються фрикційні пристрої (дискові механізми, барабанні механізми, стрічкові механізми), електромагнітні пристрої (електроретардери, електромотор-колеса) або гідрооб'ємні пристрої (гідротрансформатори, гідромотор-колеса).

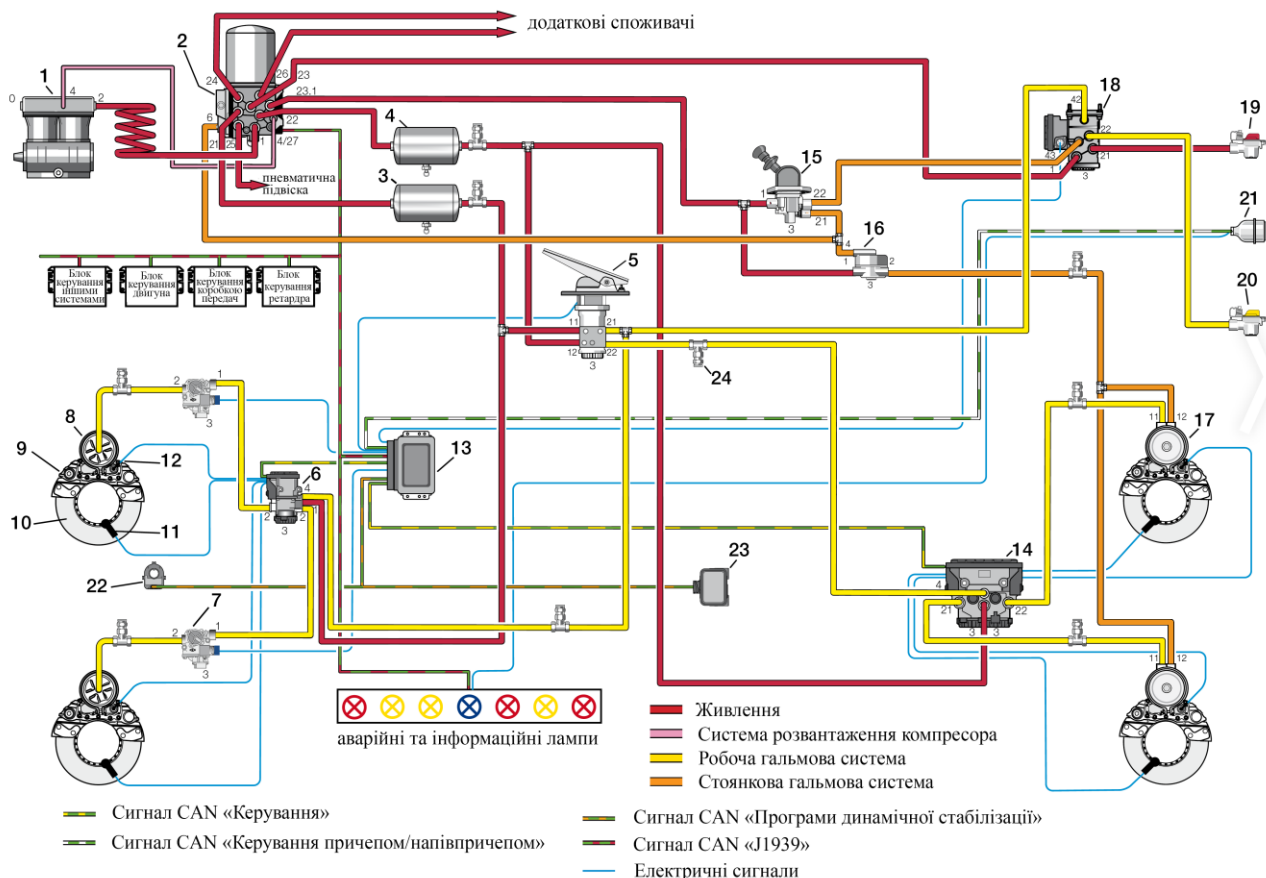
Гальмові приводи для забезпечення функціонування запасної (аварійної) гальмової системи поділяються на контури [7 - 9]. На

автомобілях малого класу частіше використовують так звані «діагональні контури», а на автомобілях великого класу (з великими вагово-габаритними параметрами) використовують «осьові контури». Причому на транспортних засобах з великою кількістю осей частіше застосовують пневматичний гальмовий привід, тому у подальшому аналіз ефективності гальмування колісного транспортного засобу будемо розглядати на прикладі гальмової системи з пневматичним гальмовим приводом.

Аналіз публікацій

Типова схема розділення гальмового приводу на два осьових контури зображена на рис. 1. На схемі передній осьовий контур та задній осьовий контур керує дисковими гальмовими механізмами. Слід відзначити що не завжди ефективність дії переднього контуру дорівнює ефективності дії заднього контуру. Це пов'язано, як показав аналіз науково-технічної літератури [4 - 9], із розташуванням координати центра ваги КТЗ та особливістю взаємодії шин його коліс з поверхнею дорожнього покриття [10, 11].

Контури пневматичного гальмового приводу спрацьовують завдяки пристрою, який отримав назву – гальмовий кран. При використанні інших приводів назва керуючого пристрою може бути іншою (головний циліндр, електронна педаль, тощо).



- 1 – компресор; 2 – електронний блок підготовки повітря (ЕАС); 3 – повітряний ресивер першого контуру гальмового привода; 4 – повітряний ресивер другого контуру гальмового привода; 5 – гальмовий кран (модуль ногого гальма); 6 – одноканальний модулятор тиску; 7 – індивідуальний модулятор тиску; 8 – гальмова камера; 9 – дисковий гальмовий механізм; 10 – гальмовий диск з імпульсним колесом; 11 – датчик швидкості обертання колеса; 12 – датчик зносу фрикційної накладки; 13 – електронний блок керування гальмовою системою; 14 – двоканальний модулятор тиску; 15 – ручний гальмовий кран; 16 – прискорювальний клапан; 17 – енергоакумулятор; 18 – модулятор керування гальмами причепа/напівпричепа; 19 – з'єднувальна головка «живлення»; 20 – з'єднувальна головка «керування»; 21 – з'єднувальний штекер ISO 7638; 22 – датчик кута повороту керма; 23 – датчик моменту ризику; 24 – контрольний вивід

Рис. 1. Типова схема гальмового керування двовісного транспортного засобу [7]

Аналіз науково-технічної інформації показав [1 - 5], що гальмові крани, які використовуються для керування пневматичним гальмовим приводом, в залежності від конструкції можуть бути:

- односекційними;
- двосекційними;
- трисекційними.

Односекційні крани встановлювалися на автомобілі, які випускалися на початку ХХ ст., двосекційні гальмові крани встановлюються на сучасних транспортних засобах, а трисекційні – майже не використовуються, вони серійно освоєні тільки на Вовчанському агрегатному заводі (Україна).

Конструкція різних типів гальмових кранів наведена на рис. 2.

Збільшення кількості секцій гальмового крану обумовлена зростанням кількості осей на колісному транспортному засобі, адже відомо, що із зростанням кількості осей та виході з ладу якого-небудь контуру гальмової системи знижується безпека дорожнього руху великовагових транспортних засобів.

З науково-технічної літератури [12 - 18] встановлено, що сьогодні багатівісні транспортні засоби використовуються не тільки у військових цілях (рис. 3 а), а й в галузі будівництва (рис. 3 в, г) та інших сферах (рис. 3 б, рис. 4), як найбільш раціональна техніка, яка здатна перевозити великі вантажі при достатньо низьких паливно-економічних показниках, тому їх гальмовому керуванню і приділяється увага в даній публікації.

Мета та задачі дослідження

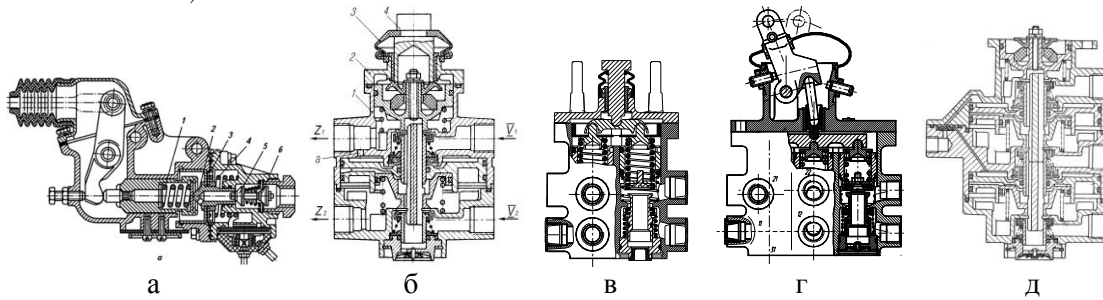
Метою дослідження є вибір раціональної схеми підключення контуру гальмового привода до відповідних гальмових механізмів чотиривісного КТЗ при використанні двохсекційного та трисекційного гальмового крана.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– визначити уповільнення КТЗ у разі виходу з ладу одного з контурів його робочої гальмової системи;

– виконати імітаційне моделювання динаміки руху колісного транспортного засобу під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи;

– визначити раціональну схему з'єднання контурів гальмового привода із мостами чотиривісного колісного транспортного засобу.



а – односекційний, б – двосекційний з послідовними секціями, в – двосекційний з паралельними секціями, г – трисекційний з паралельними секціями, д – трисекційний з послідовними секціями

Рис. 2. Конструкції пневматичних гальмових кранів



а



б



в



г

а – чотиривісний автомобіль військового призначення; б – чотиривісний автомобіль для гасіння пожеж; в – шестивісний автомобіль для будівництва (самоскид);

г – п'ятивісний автомобіль з бетонаносом

Рис. 3. Багатівісні транспортні засоби



а



б



в

а – тривісний автобус; б – чотиривісний автобус; в – п'ятивісний автобус

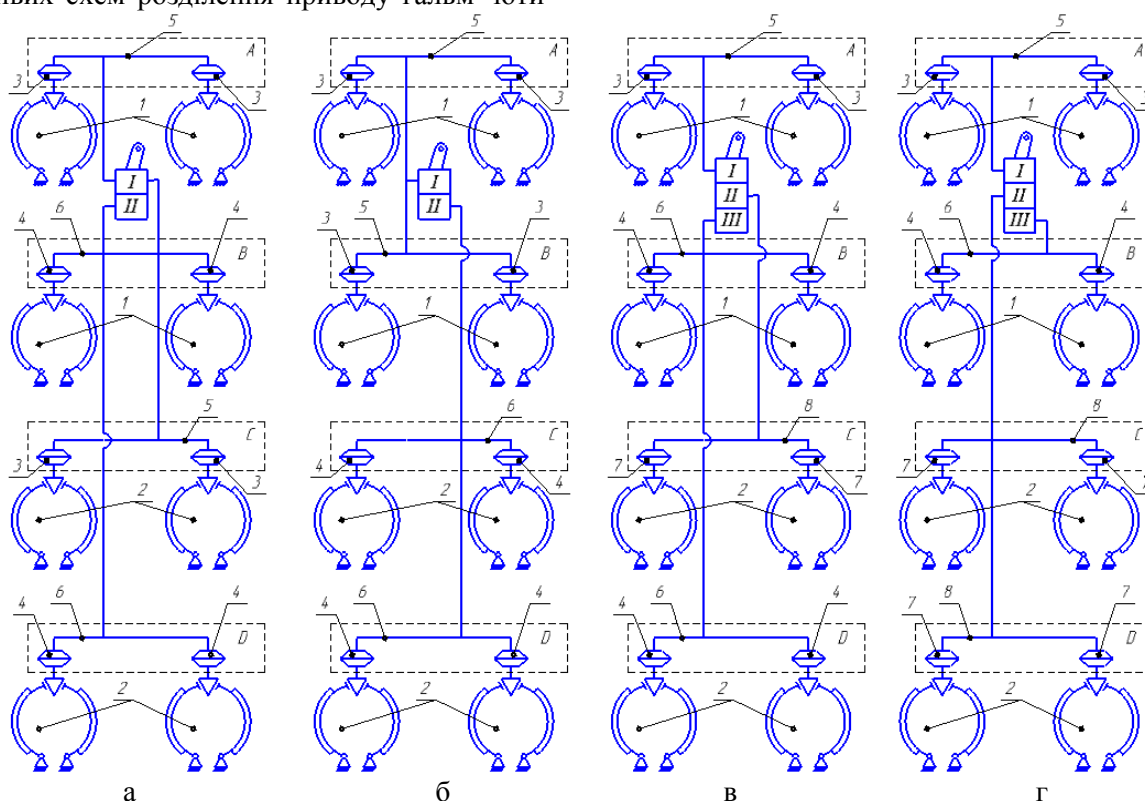
Рис. 4. Багатівісні транспортний засіб для перевезення пасажирів (автобуси)

Дослідження ефективності дії запасної гальмової системи чотирьохвісного колісного транспортного засобу

В останні роки асортимент багатовісних транспортних засобів почав зростати швидкими темпами, при майже незмінній його гальмовій системі, в наслідок чого виникає проблема розділення гальмового привода на раціональні схеми контурів. Так для чотирьохвісного транспортного засобу може бути складено багато схем контурів, чотири з яких зображено на рис. 5.

Проведені теоретичні дослідження можливих схем розділення приводу гальм чоти-

рьохвісного колісного транспортного засобу показали, що в залежності від схеми підключення контурів до гальмових механізмів та схеми розташування мостів (рис. 6) на колісному транспортному засобі ефективність дії запасної (аварійної) гальмової системи такого автомобіля буде відрізнятися одна від одної. Отримані в наслідок імітаційного моделювання результати дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного колісного транспортного засобу для зручності аналізу зведені до табл. 1 та табл. 2.



а, б – схеми підключення двосекційного гальмового крану до відповідних гальмових механізмів чотирьохвісного колісного транспортного засобу; б та в – схеми підключення трисекційного гальмового крану до відповідних гальмових механізмів чотирьохвісного колісного транспортного засобу;
1 – передні гальмові механізми типу «симплекс»; 2 – задні гальмові механізми типу «симплекс»;
3, 4 та 7 – гальмові камери встановлені на відповідних осях колісного транспортного засобу;
5, 6 та 8 – відповідні контури гальмового приводу робочої гальмової системи колісного транспортного засобу; I, II та III – номер секцій гальмового крану, які з'єднуються з відповідними місцями A, B, C, D гальмового контуру в яких встановлено гальмові камери 3, 4 або 7

Рис. 5. Схема розділення приводу на контури



а – два моста передніх та два задніх; б – один міст передній та три задніх

Рис. 6. Схеми розміщення мостів чотирьохвісного транспортного засобу

Під час дослідження задавалися параметри чотиривісного автомобіля *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* та *Scania R 580 8x8*4 Zetterbergs tippdumper*.

Аналіз результатів розрахунків показав, що при використанні двосекційного гальмового крану при схемі розташування мостів два спереду та два позаду (рис. 6 а), коефіцієнт гальмування КТЗ відповідає вимогам стандартів, як це розглянуто в роботі [9], тільки у двох випадках: 1212 та 2121, які рівноцінні один одному.

При виході з ладу будь якого контуру підключеного до мостів по схемі 1212 та

2121 забезпечується 50 % ефективність гальмування при початковій швидкості гальмування 80 км/год на дорозі з коефіцієнтом тертя 0,95. У разі ж використання схеми розташування мостів зображеної на рис. 6 б кількість варіантів підключення двосекційного гальмового крану до мостів збільшується (1212, 2121, 1122, 2211), але при цьому загальна вага транспортного засобу для забезпечення вимог правил дорожнього руху України повинна бути зменшена на 2600 кг у порівнянні із КТЗ, який має схему розташування мостів зображену на рис. 6 а., щоб не перевищити в динаміці вагу на осі.

Таблиця 1 – Дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного КТЗ при використанні двосекційного гальмового крану (раціональні варіанти - виділені жирним шрифтом)

Точка підключення (А, В, С, D) до секції гальмового крану (1 та 2)				Коефіцієнт гальмування під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи <i>MAN TGS 41.360 8X4</i> (рис. 9 а) / <i>Scania R 580 8x8*4</i> (рис. 9 б)	
				При виході з ладу 1-го контуру	При виході з ладу 2-го контуру
А	В	С	D		
1	2	2	2	0,432 / 0,450	0,084 / 0,077
2	1	2	2	0,394 / 0,333	0,122 / 0,216
2	2	1	2	0,343 / 0,374	0,198 / 0,176
2	2	2	1	0,391 / 0,450	0,151 / 0,098
1	1	2	2	0,320 / 0,258	0,202 / 0,289
2	1	1	2	0,225 / 0,167	0,310 / 0,372
2	2	1	1	0,202 / 0,289	0,320 / 0,258
1	2	1	2	0,262 / 0,304	0,272 / 0,258
2	1	2	1	0,272 / 0,258	0,262 / 0,304
1	2	2	1	0,310 / 0,372	0,225 / 0,167
1	1	1	2	0,151 / 0,098	0,391 / 0,450
2	1	1	1	0,084 / 0,077	0,432 / 0,450
1	1	2	1	0,198 / 0,176	0,343 / 0,374
1	2	1	1	0,122 / 0,216	0,394 / 0,333

При використанні трисекційного гальмового крану кількість варіантів комбінування контурів із місцями підключення до мостів чотиривісного транспортного засобу збільшується з 14 до 36, при цьому раціональними варіантами є тільки 24 для схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 а, та 30 варіантів – для схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 б.

Раціональні схеми компоновки секцій трисекційного гальмового крану із точками підключення до мостів чотиривісного КТЗ, які задовольняють вимогам міжнародного стандарту, щодо ефективності гальмування з втратою ефективності, для зручності аналізу представлено в табл. 2.

Наведені у табл. 2 варіанти компоновки секцій гальмового крану із точками підключення їх до мостів КТЗ дозволяють у

разі виходу з ладу будь-якого елемента будь-якого з контурів гальмового привода забезпечити 50 % ефективність гальмування КТЗ від мінімально допустимої. Слід зазначити що найкраще гальмування КТЗ із втратою ефективності досягається для транспортного засобу *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* при наступних схемах підключення трисекційного гальмового крану до мостів КТЗ (два моста спереду, два позаду): 1123, 1132, 2213, 2231, 3312, 3321. Найкраща ж ефективність гальмування транспортного засобу *Scania R 580 8x8*4 Zetterbergs tippdumper* може бути досягнута при використанні схеми підключення трисекційного гальмового крану до мостів КТЗ (один міст спереду, три позаду) у такий спосіб: 1231, 1321, 2132, 2312, 3123, 3213.

Як можна побачити з наведених схем, які забезпечують найкращий результат гальмування КТЗ з втратою ефективності не більше ніж 50 % від мінімально допустимої ефективності гальмування, вони є варіантами перестановки секцій гальмового крану і є повністю взаємозамінними.

Співставлення результатів визначення ефективності гальмування КТЗ при використанні двосекційного та трисекційного гальмового крану дозволяє зробити висновок, що використання останнього на порядок збільшує ефективність дії запасної гальмової системи КТЗ та в цілому підвищує надійність робочої гальмової системи.

З аналізу результатів розрахунку ефективності гальмування КТЗ під час використання запасної гальмової системи можна побачити, що із зменшенням ваги автомобіля *Scania R 580 8x8*4* (31000 кг) по відношенню до автомобіля *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* (28400 кг) на 2600 кг (на 8 %) при використанні схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 б його ефективність гальмування збільшилася на 7 %. Слід зазначити, що виконані дослідження не враховують особливості маневреності наведених автомобілів, а висновки зроблені тільки на основі ефективності гальмування КТЗ.

Таблиця 2 – Дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного КТЗ при використанні трисекційного гальмового крану (тільки раціональні варіанти)

Точка підключення (А, В, С, D) до секції гальмового крану (1, 2 та 3)				Коефіцієнт гальмування під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи <i>MAN TGS 41.360 8X4</i> (рис. 9 а) / <i>Scania R 580 8x8*4</i> (рис. 9 б)		
				При виході з ладу 1-го контуру	При виході з ладу 2-го контуру	При виході з ладу 3-го контуру
А	В	С	D			
1	2	3	1	0,310 / 0,390	0,394 / 0,349	0,343 / 0,392
1	2	1	3	0,262 / 0,306	0,394 / 0,349	0,391 / 0,478
1	3	2	1	0,310 / 0,390	0,343 / 0,392	0,394 / 0,349
1	3	1	2	0,262 / 0,306	0,391 / 0,478	0,394 / 0,349
1	1	2	3	0,320 / 0,265	0,343 / 0,392	0,391 / 0,478
1	1	3	2	0,320 / 0,265	0,391 / 0,478	0,343 / 0,392
2	1	3	1	0,272 / 0,266	0,432 / 0,466	0,343 / 0,392
3	1	2	1	0,272 / 0,266	0,343 / 0,392	0,432 / 0,466
1	2	3	2	0,432 / 0,466	0,272 / 0,266	0,343 / 0,392
2	1	3	2	0,394 / 0,349	0,310 / 0,390	0,343 / 0,392
2	1	2	3	0,394 / 0,349	0,262 / 0,306	0,391 / 0,478
2	3	1	2	0,343 / 0,392	0,310 / 0,390	0,394 / 0,349
2	3	2	1	0,391 / 0,478	0,262 / 0,306	0,394 / 0,349
2	2	1	3	0,343 / 0,392	0,320 / 0,265	0,391 / 0,478
2	2	3	1	0,391 / 0,478	0,320 / 0,265	0,343 / 0,392
1	3	2	3	0,432 / 0,466	0,343 / 0,392	0,272 / 0,266
2	3	1	3	0,343 / 0,392	0,432 / 0,466	0,272 / 0,266
3	1	2	3	0,394 / 0,349	0,343 / 0,392	0,310 / 0,390
3	1	3	2	0,394 / 0,349	0,391 / 0,478	0,262 / 0,306
3	2	1	3	0,343 / 0,392	0,394 / 0,349	0,310 / 0,390
3	2	3	1	0,391 / 0,478	0,394 / 0,349	0,262 / 0,306
3	3	1	2	0,343 / 0,392	0,391 / 0,478	0,320 / 0,265
3	3	2	1	0,391 / 0,478	0,343 / 0,392	0,320 / 0,265

Висновки

Кількість секцій гальмового крану та схема їх підключення до мостів транспортного засобу суттєво впливають на ефективність гальмування останнього, тому необхідно під час вибору компоновки розміщення запасної (аварійної) гальмової системи приділяти особливу увагу, щодо цього питання оскільки це впливає на безпеку дорожнього руху.

Отримані результати ефективності гальмування чотиривісного колісного транспортного засобу при виході з ладу одного з його контурів робочої гальмової системи показали, що використання трисекційного гальмового крана дозволяє отримати кращі показники гальмування ніж використання двосекційних гальмових кранів, які серійно встановлюються майже на всіх великовагових КТЗ.

Використання схеми розміщення мостів на транспортному засобі одна вісь спереду, три позаду у порівнянні із схемою розміщення мостів два спереду, два позаду знижує допустиму загальну вагу транспортного засобу але покращує його ефективність гальмування на 7%.

Під час застосування двосекційних гальмових кранів найбільш раціональною схемою підключення контурів гальмового привода до гальмових механізмів є схема 1212 або 2121, оскільки як показав аналіз результатів моделювання, тільки при використанні саме цих схем запасна гальмова система чотиривісного транспортного засобу незважаючи від схеми розміщення мостів КТЗ забезпечує ефективність гальмування більше 50 % від мінімально допустимої ефективності дії його робочої гальмової системи.

Література

1. Крайник Л. В., Дуфанець І. Г. Обґрунтування та оцінка ефективності схеми гальмового привода тривісного моноблочного автобуса. *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2008. Вып. 42. С. 17-19.
2. Крайник Л. В., Дуфанець І. Г. Динаміка і параметрична оптимізація гальмового привода тривісного автобуса з моноблочним кузовом. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. Горлівка, 2009. Вип. 2. С. 33-36
3. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств. *Транспорт*. Москва, 1988. 224с.
4. Пчелин И. К. Динамика процесса торможения автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Пчелин Игорь Константинович. Москва, 1984. 390 с.
5. Ревин А. А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения. Монография, 2002. 372 с.
6. Леонтьев Д. М. Системний підхід до створення автоматизованого гальмівного керування транспортних засобів категорій М3 та Н3: дис. ... канд. техн. наук.: 05.22.02. Нац. б-ка України ім. В.І. Вернадського, Київ, 2011.
7. EBS3 – Electronic braking system. System description. *WABCO*. URL: <http://www.wabco.info/i/196> (дата звернення: 28.11.2019).
8. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) (2015) Electronically Controlled Braking Systems for Trailers. Technical book. 2015. 28p.
9. Туренко А. Н., Клименко В. И., Рыжих Л. А., Леонтьев Д. Н., Михалевич Н. Г., Красюк А. Н. Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортных средств. Монография. Харьков, 2015. 450 с.
10. Левин М. А., Фуфаев Н. А. Теория качения деформированного колеса. Учебник, 1989. 269 с.
11. Леонтьев Д. Н., Рыжих Л. А., Быкадоров А. В. Определение продольной реализуемой силы сцепления автомобильного колеса с опорной поверхностью по крутильной деформации шины и ее жесткости. *Автомобильная промышленность*, 2014. 10. С. 20-25.
12. Wu J. L., Zhang H. C., Zhang Y. Q. Robust design of a pneumatic brake system in commercial vehicles. *SAE Int. J. Commer. Veh.*, 2009, Vol. 2, pp. 17–28.
13. Miller J., Cebon D. An investigation of the effects of pneumatic actuator design on slip control for heavy vehicles. *Veh. Syst. Dyn.*, 2013, Vol. 51, pp. 139–164.
14. Patil J., Palanivelu S., Jindal A. Mathematical model of dual brake valve for dynamic characterization. *SAE Tech. Pap.* 2013.
15. Natarajan S. V., Subramanian, S. C., Darbha S. A model of the relay valve used in an air brake system. *Nonlinear Anal. Hybrid Syst.* 2007, Vol. 1, pp. 430–442.
16. Selvaraj M., Gaikwad S., Suresh A. K. Modeling and simulation of dynamic behavior of pneumatic brake system at vehicle level. *SAE Tech. Pap.* 2014.
17. Bowlin, C.L.; Subramanian, S.C.; Darbha, S.; Rajagopal, K.R. Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles. *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.* 2006, Vol. 153, pp. 21–32.
18. Qin, T.; Li, G.Y.; Tu, M. Bus pneumatic braking circuit delay analysis and control. *Trans. Beijing Inst. Technol.* 2012, Vol. 32, pp. 470–474.

Reference

1. Krainyk L. V. Dufanets I. H. (2008) Obgruntuvannia ta otsinka efektyvnosti skhemy halmovoho pryvodu tryvisnoho monoblochnoho avtobusa [Substantiation and evaluation of the efficiency of the brake system of a three-axle bus with a monoblock body] *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. 42. 17-19. [in Ukraine].
2. Krainyk L. V. Dufanets I. H. (2009) Dynamika i parametrychna optyimizatsiia halmovoho pryvodu tryvisnoho avtobusa z monoblochnym kuzovom [Dynamics and parametric optimization of a three-axle bus with a monoblock body] *Visti Avtomobilno-dorozhnogo instytutu*, 2009. 2. 33-36 [in Ukraine].
3. Gurevich L. V., Melamud R. A. (1988) Pnevmaticheskiy tormoznoy privod avtotransportnyih sredstv [Pneumatic brake drive for vehicles] *Transport*. [in Russian].
4. Pchelin I. K. (1984) Dinamika protsessa tormozheniya avtomobilya [The dynamics of the process of braking the car]: Avtoreferat, dis.

- roboata kand. tehn. nauk: 05.05.03. Pchelin Igor Konstantinovich. Moskov. [in Russian].
5. Revin A. A. (2002) Teoriya ekspluatatsion-nyih svoystv avtomobiley i avtopoezdov s ABS v rezhime tormozheniya [Theory of operational properties of cars and trucks with ABS in braking mode]. Monografiya, Volgograd. [in Russian].
 6. Leontiev D. M. (2011) Systemnyi pidkhd do stvorennia avtomatyzovanoho halmivno-ho keruvannia transportnykh zasobiv ka-tehorii M3 ta N3 [System approach to the creation of automated brake control of vehicles of categories M3 and N3]: dys. ... kand. tekhn. nauk.: 05.22.02. Nacz. b-ka Ukrayiny` im. V.I. Vernads`kogo. [in Ukraine].
 7. EBS3 – Electronic braking system. System description. WABCO. Retrived from: <http://www.wabco.info/i/196> (accessed: 28.11.2019);
 8. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) (2015) Electronically Controlled Braking Systems for Trailers. Technical book. 2015.
 9. Turenko A. N., Klimenko V. I., Ryizhik L. A., Leontiev D. N., Mikhalevich N. G. (2015) Realizatsiya intelektualnykh funktsiy v elektronno-pnevmaticheskomy tormoznom upravlenii transportnykh sredstv [The implementation of intellectual functions in the electron-pneumatic braking control of vehicles]. Monografiya. [in Russian]
 10. Levin M. A., Fufaev N. A. (1989) Teoriya kacheniya defor-mirovannogo koleasa [The theory of rolling deformed wheels]. Book. [in Russian]
 11. Leontev D. N., Ryizhik L. A., Byikadorov A. V. (2014) Opredelenie prodolnoy realizuemoy silyi stsepleniya avtomobilnogo koleasa s opornoй poverhnostyu po krutilnoy deformatsii shinyi i ee zhestkosti [Determination of the longitudinal realizable force of adhesion of an automobile wheel with a bearing surface by torsional deformation of the tire and its rigidity]. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 10. 20-25 [in Russian]
 12. Wu J. L., Zhang, H. C., Zhang, Y. Q. (2009) Robust design of a pneumatic brake system in commercial vehicles. *SAE Int. J. Commer. Veh.* 2. 17–28.
 13. Miller J., Cebon D. (2013) An investigation of the effects of pneumatic actuator design on slip control for heavy vehicles. *Veh. Syst. Dyn.*, 51. 139–164.
 14. Patil J., Palanivelu S., Jindal A. (2013) Mathematical model of dual brake valve for dynamic characterization. *SAE Tech. Pap.*
 15. Natarajan S. V., Subramanian S. C., Darbha S. (2007) A model of the relay valve used in an air brake system. *Nonlinear Anal. Hybrid Syst.*, 1. 430–442.
 16. Selvaraj M., Gaikwad S., Suresh A. K. (2014) Modeling and simulation of dynamic behavior of pneumatic brake system at vehicle level. *SAE Tech. Pap.*
 17. Bowlin C. L., Subramanian S.C., Darbha S., Rajagopal K. R. (2006) Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles. *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.*, 153. 21–32.
 18. Qin T., Li, G. Y., Tu M. (2012) Bus pneumatic braking circuit delay analysis and control. *Trans. Beijing Inst. Technol.*, 32. 470–474.
- Леонт'єв Дмитро Миколайович**¹, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, (097) 943-78-85, dima.a3alij@gmail.com,
- Тімонін Володимир Олексійович**¹, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net,
- Савчук Андрій Дмитрович**², судовий експерт, (099) 568 27 85, andrusha273@ukr.net,
- Губар'ков Сергій Сергійович**², судовий експерт., (066) 823 91 00, gserg93@gmail.com,
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого 25.
- ²Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України.
- Estimation of braking efficiency of four-axis vehicle in case of failure of one of the circuits of its working brake system**
- Abstract Problem.** Due to the fact that heavy construction equipment is now used more often on public roads of large cities, the work analyzes the braking efficiency of such vehicles in the event of failure of one of their brake drive circuits. **Goal.** The aim of the study is to choose a rational scheme for connecting the brake drive circuit to the corresponding brake mechanisms of a multi-axis vehicle using two-section and three-section brake valves. **Methodology.** The proposed method for numbering the circuits of the brake drive allows to evaluate and choose rational options for the layout of the brake drive for different layouts of axles on the vehicle. **Results.** The technique makes possible you to evaluate the braking performance of a multi-axis vehicle in the event of failure of one of its brake drive circuits. **Originally.** A new approach to the estimation of the braking performance of heavy vehicles is proposed, which enables to take into account the design features of the brake system of a heavy multi-axis vehicle. **Practical value.** The results of simulation modeling are described and the most rational circuit diagrams are determined at which it is possible to achieve a deceleration of 2.5 m / s² of the vehicle in case of failure of its working brake system.
- Key words:** brake system; simulation; brake dynamics; modeling; braking system efficiency; spare braking system; braking; brake drive; brake drive circuit.
- Leontiev Dmytro**¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Auto-

biles named after A.B. Gredeskul, (097) 943-78-85, dima.a3alij@gmail.com,

Timonin Volodymyr¹, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Associate Professor of the Department of Computer Technology and Mechatronics, (097) 552-66-35, tva55info@gmail.com,

Savchuk Andrii², Forensic expert, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net,

Hubarkov Serhii², Forensic expert, (066) 823-91-00, gserg93@gmail.com,

¹ Kharkov National Automobile and Highway University, 61002, Ukraine, Kharkiv, str. Yaroslava Mudrogo 25.

² The ministry of internal affairs of Ukraine scientific research and forensic Centre of the ministry of internal affairs in Kharkiv region.

Оценка эффективности торможения четырехосного транспортного средства в случае выхода из строя одного из контуров его рабочей тормозной системы

Аннотация. В работе проанализировано результаты исследования эффективности торможения многоосного транспортного средства в случае выхода из строя одного из его контуров тормозного привода. Проведено математическое моделирование динамики движения четырехосного колесного транспортного средства и определено величину его замедления при различных схемах расположения мостов относительно центра его масс та схемы соединения контуров с тормозными механизмами при использовании

двухсекционного и трёхсекционного тормозного крана. Описано результаты имитационного моделирования и определены наиболее рациональные схемы контуров, при которых возможно достижение замедления $2,5 \text{ м/с}^2$ транспортного средства в случае выхода из строя его рабочей тормозной системы.

Ключевые слова: тормозная система; эффективность действия тормозной системы; моделирование; динамика торможения; запасная тормозная система; торможение; тормозной привод; контур тормозного привода.

Леонтьев Дмитрий Николаевич¹, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей им. А. Б. Гредескула, (097) 943-78-85,

dima.a3alij@gmail.com,

Тимонин Владимир Алексеевич¹, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и мехатроники, (099) 568-27-85,

andrusha273@ukr.net,

Савчук Андрей Дмитриевич², судебный эксперт, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net,

Губарьков Сергей Сергеевич², судебный эксперт, (066) 823-91-00, gserg93@gmail.com,

¹ Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого 25.

² Харьковский научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины.