

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНОЮ ПІДВІСКОЮ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЙ N₃, M₃

Михалевич М.Г.¹, Савченко Є.Л.¹, Гармаш А.А.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто розвиток систем керування пневматичною підвіскою, визначено сучасний стан та місце мехатронних модулів і каналів зв'язку в бортових системах керування колісних транспортних засобів. Представлено концепцію розподіленої системи керування пневматичною підвіскою колісних транспортних засобів визначених категорій з мехатронними модулями. Розглянуті компоненти та алгоритм роботи нової системи керування пневматичною підвіскою.

Ключові слова: система керування, пневматична підвіска, мехатронний модуль, пневматичний балон, тиск.

Вступ

Останнім часом в автомобілебудуванні значного поширення набули керовані системи підресорювання [1]. Основною метою їхнього використання є усунення або згладжування недоліків пасивних систем підресорювання, що впливають на найважливіші експлуатаційні властивості колісних транспортних засобів (КТЗ).

Стрімкий розвиток цифрових технологій і, зокрема, мікроконтролерів та високошвидкісних цифрових мереж зв'язку, спонукає до вдосконалення наявних та створення нових бортових систем керування.

Тому на сьогодні залишається актуальною проблема створення прогресивної концепції системи керування пневматичною підвіскою КТЗ.

У статті розглянуті принципова схема, структура та складові керованої пневматичної підвіски КТЗ визначених категорій, а також алгоритм роботи системи керування нею на основі множини інтелектуальних мехатронних модулів, поєднаних швидкісним каналом передачі даних. Отже, буде запропонована нова концепція системи керування пневматичною підвіскою КТЗ.

Аналіз публікацій

На початкових стадіях розвитку бортових систем керування КТЗ, відповідно до ступеня розвитку електронних компонентів та каналів зв'язку, застосовувалися пристрої, побудовані на аналоговому принципі отримання, оброблення, контролю та передачі сигналів. Подальший розвиток електронних технологій дозволив використовувати в системах керування цифрові способи.

З точки зору керованості, існують пасивні, активні, напівактивні та адаптивні системи [2, 3]. У традиційних пасивних системах такі параметри підвіски, як ступінь демпфування, жорсткість пружного елемента, висота кузова є постійними параметрами. На відміну від пасивних систем, активні та напівактивні системи дозволяють автоматично керувати своїми параметрами залежно від стану руху та вимог водія за допомогою спеціального приводу.

Протягом декількох десятиліть пневматична підвіска з електронним керуванням широко застосовується в конструкції КТЗ. Сучасного вигляду система набула після публікації патенту на винахід щодо способу керування пневматичною підвіскою [4], а завдяки публікації технічного документа [5], що описує принципову схему, структуру та алгоритм роботи пневматичної підвіски з електронною системою керування, з'явилось визначення Electronically Controlled Air Suspension (ECAS) – пневматична підвіска з електронним керуванням.

На цей час більшість КТЗ оснащуються системою ECAS компанії WABCO VCS. Незважаючи на зміну декількох поколінь та часткового переходу до цифрової форми передачі даних між компонентами системи, ECAS збережено централізовану структуру системи керування.

У централізованій системі використовується центральний контролер, до якого комплексними каналами передачі інформації під'єднано декілька пасивних пристроїв. Така система важко розширюється. Централізована система керування має низьку надійність через велику кількість проводів. Унаслідок цього збільшується сумарна про-

тяжність і перевантаженість каналів зв'язку, зростає ризик перешкод. Обрив або замикання одного проводу може призвести до повної відмови системи. Для таких систем важко забезпечити їною надійність на основі резервування апаратурної частини.

Різке зменшення габаритів сучасних електронних пристроїв, за умови одночасного підвищення рівня їхньої функціональної насиченості, багато в чому змінило ідеологію побудови складних систем керування. Сучасні бортові системи керування є високодинамічними системами, які можуть поєднувати в собі механічні, електричні, пневматичні елементи, утворюючи мехатронні модулі.

У застосуванні мехатронних модулів досить легко забезпечується їхня інтеграція в систему керування завдяки використанню бортової мережі на основі послідовних цифрових інтерфейсів CAN, Profibus, Modbus, LIN, HART. [6, 7]

На сьогодні спостерігається перехід від централізованих систем, у яких усі процеси керування реалізуються в єдиному центральному контролері, до розподілених систем – коли функції керування розподіляються між окремими компонентами. До того ж кожен компонент є активним пристроєм (вузлом) і має свій власний локальний блок керування та обчислення для вирішення певної типової задачі.

Модернізація і розширення функціональних можливостей системи може здійснюватися за рахунок перезапису програми роботи контролерів окремих вузлів [8].

Отже, досягнення у сфері цифрових систем довели доцільність застосування мехатронних модулів у бортових системах керування КТЗ. Вони забезпечують можливість узгодженої взаємодії між окремими частинами системи.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є обґрунтування вибору концепції системи керування пневматичною підвіскою КТЗ визначених категорій та розгляд алгоритму її роботи.

Для цього необхідно проаналізувати алгоритм роботи наявної та найбільш поширеної системи керування пневматичною підвіскою, виявити її позитивні та негативні властивості, сформулювати рекомендації щодо способів усунення недоліків, представити концепцію нової системи керування, розкрити характер алгоритму керування та його можливий вплив на якість регулювання.

Аналіз наявної та найбільш поширеної системи керування

У системі керування ECAS, залежно від складу її компонентів, можуть бути реалізовані різні варіанти регулювання. Ці варіанти безпосередньо залежать від конструктивних особливостей КТЗ, його призначення та визначають конфігурацію ECAS [9].

Визначення конфігурації ECAS проводиться на підставі кількості основних контурів регулювання рівня кузова КТЗ.

Кількість основних контурів регулювання відповідає числу встановлених у систему датчиків положення (рівня) кузова (або датчиків ходу – у формулюванні WABCO). Так, система ECAS, що застосовується на КТЗ категорій N₃, M₃ з колісною формулою 4x2, як правило, налічує три датчики положення (рівня) кузова, а її конфігурація забезпечує тристороннє регулювання [9].

Відповідна принципова схема регулювання ECAS наведена на рис. 1 [9]. Вона застосовується в конструкції КТЗ визначених категорій: у вантажних автомобілях малої і великої вантажопідйомності, а також в автобусах і тролейбусах.

Основною функцією системи ECAS є підтримання цільового рівня кузова КТЗ (відстані між віссю і кузовом (рамою) КТЗ, яку необхідно підтримувати) всупереч впливу зовнішніх факторів, які викликають відхилення цільового рівня [9].

Датчики тиску використовуються для реалізації системою ECAS додаткових функцій, таких як компенсація коливань тиску в шинах, захист від перевантаження, допомога у маневруванні, допомога під час рушання, автоматичне керування підйомною і веденою віссю тощо [9]. Окремо слід виокремити функцію нахилу кузова автобуса для полегшення посадки / висадки пасажирів (функцію кнілінгу) [10].

Для ручного керування системою ECAS передбачено виносний пульт.

Система складається з: електронного блоку керування (ЕБК) (8), електромагнітних клапанів керування передньою та задньою віссю (ЕКК) (6) (які складаються з пневматичних каскадів підсилення, що керуються електропневматичними клапанами), датчиків тиску стисненого повітря в пневматичних балонах (4 і 5) та положення (рівня) кузова КТЗ (10). Особливістю системи є єдиний центральний ЕБК, що може бути встановлено у будь-якому місці кабіни або салону КТЗ. ЕБК з'єднується з електромагнітними клапа-

нами керування підйомом/опусканням віссю за допомогою дротів, що живлять електромагнітні клапани керування. Як зворотний зв'язок у системі ECAS використовуються безконтактні датчики переміщення, установлені між мостом та кузовом.

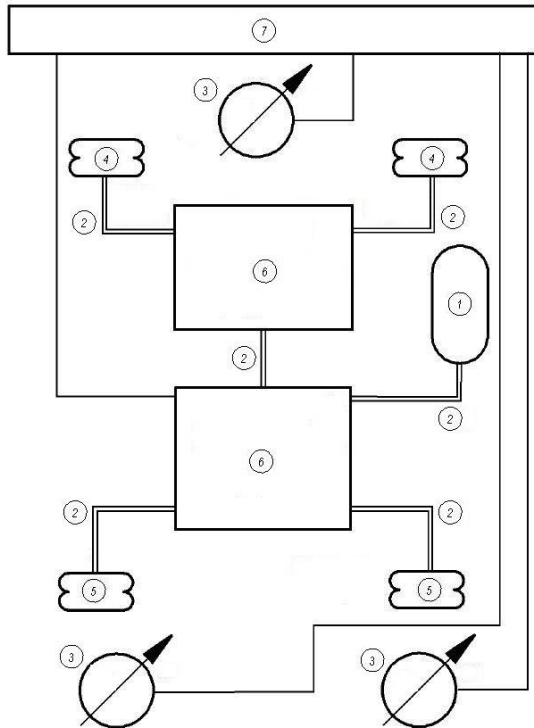


Рис. 1. Схема регулювання системи керування ECAS WABCO [9]: 1 – джерело живлення системи стисненим повітрям; 2 – пневматичні магістралі; 3 – датчики положення (рівня) кузова; 4 та 5 – пневматичні балони (пружні елементи підвіски) передньої та задньої осей відповідно; 6 – електромагнітні клапани керування (ЕКК) передньою та задньою віссю; 7 – пристрої (засоби), призначені для генерації керуючих впливів (електронний блок керування та панель керування)

Як правило, для транспортного засобу з колісною формулою 4x2 система ECAS складається з двох модульних ЕКК (6) і трьох або чотирьох датчиків рівня кузова КТЗ (10). Система безперервно порівнює відстань між кузовом або рамою та віссю КТЗ із цільовим рівнем кузова КТЗ. За допомогою датчика рівня кузова КТЗ (10) визначається відстань між віссю та кузовом (рамою) транспортного засобу. Якщо ЕБК (8) розпізнає відхилення від цільового рівня кузова транспортного засобу, то він задіє

електромагнітні клапани керування (6) підйомом/опусканням кузова КТЗ, установлені на передній та/або задній осі КТЗ. Під час наповнення/спорожнення пневматичних балонів (4 і 5) підвіски КТЗ через пневматичні магістралі (2) відбувається підйом/опускання кузова КТЗ відносно його осей для досягнення заданого значення цільового рівня. Додатково може бути встановлено вищий або нижчий цільовий рівень за допомогою натискання кнопки або перемикача на пульті керування. За умови відповідності положення кузова його цільовому рівню ЕКК (6) знеструмуються.

Разом з тим, система ECAS має недоліки, властиві, зокрема, для централізованих систем керування:

- велику номенклатуру електромагнітних клапанів із різним функціональним призначенням;

- електромагнітні клапани розташовано на відстані від пневматичного балона, що призводить до використання трубопроводів значної довжини та перерізу, що збільшує розміри модульних електропневматичних клапанів керування;

- наявність єдиного ЕБК призводить до збільшення довжини дротів, які з'єднують ЕБК з електроклапанами та датчиками. Крім того, необхідність віддаленого керування кожним електропневматичним клапаном та отримання інформації від датчиків призводить до появи великої кількості з'єднувальних елементів. Така схема потребує розроблення складних алгоритмів виявлення помилок під час передачі інформації від датчиків до ЕБК;

- довгі дроти, що упаковані в гофровану трубку, та з'єднувачі становлять помітну частину вартості системи керування;

- особливості робочого процесу потребують налаштування системи для кожного конкретного автотранспортного засобу; ця інформація зберігається на сайті компанії виробника для налагодження електронного блоку в разі його заміни, що знижує гнучкість всієї системи і підвищує її вартість, оскільки система продається разом з її супроводом.

Зважаючи на вказані недоліки, що пов'язані з наявною структурою найбільш використовуваної системи, виникає завдання спрощення організації системи керування пневматичною підвіскою. Досягти спрощення можна шляхом скорочення номенклатури електромагнітних клапанів, зменшення їхніх розмірів, що дасть змогу встановлювати їх в

місяцях, якнайближче розташованих до пневматичних балонів підвіски, а також скорочення довжини пневматичних трубопроводів та електричних дротів. Зменшення кількості електричних з'єднувачів можна досягти шляхом інтеграції датчиків електропневматичних клапанів та електронного блоку керування в єдиний апарат керування складовою частиною пневматичної підвіски.

Перспективна система керування пневматичною підвіскою

Для вирішення поставленого завдання пропонується нова принципова схема для системи керування пневматичною підвіскою КТЗ визначеної категорії (рис. 2) [11].

Перспективна система керування підвіскою є цифровою розподіленою бортовою системою керування реального часу.

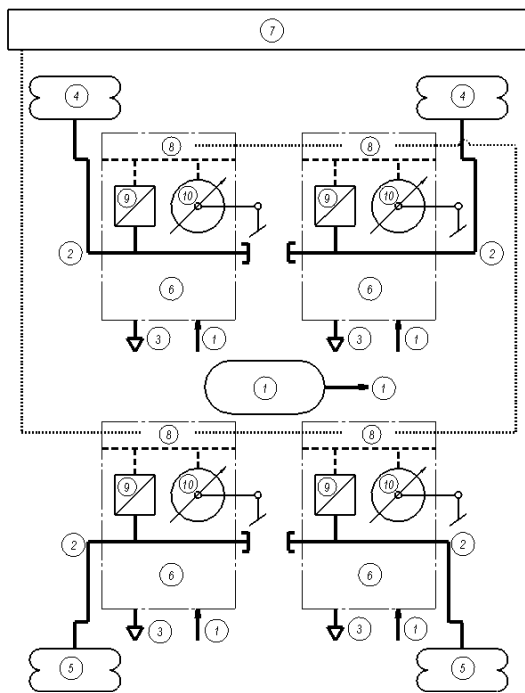


Рис. 2. Принципова схема запропонованої системи керування: 1 – джерело живлення стисненим повітрям та його магістраль; 2 – пневматичні магістралі; 3 – вікно випуску повітря в атмосферу (глушник); 4 та 5 – пневматичні балони (пружні елементи підвіски) передньої та задньої осі відповідно; 6 – електронний клапанний пристрій; 7 – пристрої (засоби), призначені для генерації керуючих впливів (панель приладів або пульт керування); 8 – електронний блок керування (обчислювальний модуль); 9 – датчик тиску стисненого повітря; 10 – датчики положення (рівня) кузова

Запропонована система складатиметься з електронного клапанного пристрою (ЕКП) (6) керування тиском у пневматичних балонах (4 і 5) підвіски КТЗ з інтегрованим у його конструкцію ЕБК (8). ЕБК оснащений датчиком тиску (9) та датчиком положення (рівня) кузова КТЗ (10).

Для КТЗ із колісною формулою 4x2 система складатиметься з чотирьох ЕКП (6) керування тиском у пневматичних балонах (4) та (5) підвіски й засобів керування (7) (пульту або перемикачів на панелі приладів). Ці елементи системи пов'язані між собою шиною даних CAN.

У разі зменшення відстані між дійсним положенням кузова та віссю КТЗ щодо цільового рівня індивідуальний ЕКП (6), установлений перед окремим пневматичним балоном (балонами) (4 або 5) подає стиснене повітря від джерела (1) через пневматичну магістраль (2) у пневматичний балон (балони) підвіски КТЗ (4 або 5). У разі збільшення відстані між дійсним положенням кузова та віссю КТЗ щодо цільового рівня індивідуальний ЕКП (6) випускає стиснене повітря з пневматичного балона (4 або 5) в атмосферу через вікно (3). Додатково може бути встановлено вищий або нижчий цільовий рівень за допомогою натискання кнопки або перемикача на панелі приладів або пульта керування (7). За умови відповідності положення кузова його цільовому рівню ЕКП (6) знеструмлюються.

Характерною особливістю такої концепції системи є те, що уніфіковані ЕКП керування тиском у пневматичному балоні підвіски КТЗ пов'язані між собою та пристроєм керування шиною CAN та є складовою мехатронного модуля, у який інтегровано електропневматичний клапан керування тиском у пневматичному балоні підвіски та електронний блок керування з розташованими в ньому датчиками тиску та рівня кузова.

Технічний результат полягає у скороченні довжини та необхідного перерізу пневматичних трубопроводів, а разом з цим, – розмірів ЕКП. Досягнення мети можливе за рахунок установлення ЕКП керування тиском у пневматичному балоні підвіски в безпосередній близькості до пневматичного балона. Крім того, скорочується довжина проводів для передачі керуючих впливів від ЕБК до електропневматичних клапанів, тому що ЕБК інтегровано в конструкцію ЕКП. Із тієї самої причини відсутні проводи та роз'єми, що з'єднують ЕБК та датчики. Для передачі ін-

формації між всіма складовими системи необхідно лише два проводи, оскільки для цього використовується шина CAN.

Отже, представлена система керування пневматичною підвіскою КТЗ визначеної категорії містить мехатронний модуль ЕКП (який складається з електронного блоку керування, датчиків тиску та рівня кузова, електропневматичних клапанів керування тиском у пневматичному балоні підвіски, які керуються електронним блоком) та пристрій керування (пульт дистанційного керування), сигнал від якого передається до електронного блоку по шині CAN.

Висновки

Запропоновано новий підхід до підвищення ефективності функціонування і забезпечення працездатності системи керування пневматичною підвіскою КТЗ на основі використання інформаційного мережного середовища. На відміну від традиційного підходу, запропонований підхід має більшу ступінь гнучкості механізму його реалізації та функціонування.

Реалізовано перспективний метод контролю, моніторингу та підвищення ефективності функціонування бортової розподіленої системи керування пневматичною підвіскою КТЗ на основі організації автономних вузлів.

Запропонована система передбачає можливість модернізації наявних КТЗ, не обладнаних електронними системами керування пневматичною підвіскою, із збереженням структури наявного пневматичного приводу з невеликою довжиною трубопроводів за рахунок уніфікації місць кріплення механічного крана керування пневматичною підвіскою з кріпленням мехатронного модуля нової системи керування підвіскою.

Запропонована система дозволяє знизити витрати стисненого повітря через електропневматичні клапани в процесі експлуатації, менш чутлива до зміни зовнішніх кліматичних умов, більш захищена від помилкових спрацьовувань під час дії випадкових факторів, не потребує складного переналаштування в процесі ремонту, містить мінімальну кількість зовнішніх електричних контактів і пневматичних з'єднань. Це дозволяє рекомендувати її для використання на КТЗ визначеної категорії.

Порівняно з наявною системою керування, реалізованою в системі ECAS WABCO, запропонована система забезпечує реалізацію основної функції керування пневматичною підвіскою та відомих додаткових функцій.

Література

1. Акопян Р.А. Пневматическое поддресоривание автотранспортных средств (вопросы теории и практики). Ч. 1. Львов: Вища школа, 1979. 218 с.
2. Fischer, D., Isermann R. Mechatronic semi-active and active vehicle suspensions. Control Engineering Practice. 2004. Vol. 12. No. 11. P. 1353–1367.
3. Isermann, R. Mechatronic Systems: Fundamentals. London. Springer-Verlag, 2005. 624 p.
4. Schonfeld K., Geiger H., Hesse K., Electronically Controlled Air Suspension (ECAS) for Commercial Vehicles. SAE Technical Paper 912671, 1991. URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/912671/> (дата звернення: 15.11.2020).
5. Patent № DE 3815612 A1. Method for controlling an air-assisted vehicle suspension. Опубл. 16.11.1989.
6. CAN application layer for industrial application. CiA, DS201-207, ver. 1.1. 1996. 182 p.
7. HART field communication protocol. Application guide HCF LIT 34. HART Communication Foundation, 1999. 80 p.
8. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Расчёт и конструирование: Учебное пособие. Москва: МГТУ «Станкин», 2004. 360 с.
9. ECAS в грузовых автомобилях. Описание системы и инструкции по установке. URL: <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/27/8150800273.pdf> (дата звернення: 15.11.2020).
10. Электронная система управления уровнем пола (ECAS) для автобусов с пневматической подвеской. URL: <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/28/8150800283.pdf> (дата звернення: 15.11.2020).
11. Пат. 144686 України. Система керування пневматичною підвіскою. Опубл. 27.10.2020.

References

1. Akopyan R.A. (1979). Pnevmaticheskoe podressorivanie avtotransportnyih sredstv (voprosy teorii i praktiki). [Pneumatic suspension of vehicles (theory and practice)]. Ch.1. Lvov: Vischa shkola, 1979. [in Russian]
2. Fischer, D., Isermann R. (2004). Mechatronic semi-active and active vehicle suspensions. Control Engineering Practice. 12 (11). 1353–1367.
3. Isermann, R. (2005). Mechatronic Systems: Fundamentals. London. Springer-Verlag, 624 p.
4. Schonfeld K., Geiger H., Hesse K., (1991). Electronically Controlled Air Suspension (ECAS) for Commercial Vehicles. SAE Technical Paper 912671. URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/912671/> (access date: 15.11.2020).
5. Patent № DE 3815612 A1. (1989). Method for controlling an air-assisted vehicle suspension. Publication. 16.11.1989.
6. CAN application layer for industrial application. (1996). CiA, DS201-207, ver. 1.1.

7. HART field communication protocol. (1999). Application guide HCF LIT 34. HART Communication Foundation.
8. Egorov O.D., Poduraev Yu.V. (2004). Mehatronnyie moduli. RaschYot i konstruirovaniye. [Mechatronic modules. Calculation and design]. Uchebnoe posobie. Moskva: MGТУ «Stankin». [in Russian]
9. ECAS v gruzovyih avtomobilyah. Opisanie sistemy i instruktsii po ustanovke. [ECAS in trucks. Description of the system and installation instructions.]. URL: <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/27/8150800273.pdf> (access date: 15.11.2020). [in Russian]
10. Elektronnyaya sistema upravleniya urovnem pola (ECAS) dlya avtobusov s pnevmaticheskoy podveskoy. [Electronic floor control system (ECAS) for buses with air suspension.]. URL: <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/28/8150800283.pdf> (access date: 15.11.2020). [in Russian]
11. Pat. 144686 Ukrayini. Sistema keruvannya pnevmatichnoyu pidviskoyu [Pat. 144686 of Ukraine. Pneumatic suspension control system]. Publication 27.10.2020. [in Ukrainian].

Михалевич Микола Григорович¹, к.т.н., доц. каф. автомобілів ім. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27,

Савченко Євген Лукич¹, аспірант, тел. +38 050-343-81-00, ev.gentleman@ukr.net,

Гармаш Антон Андрійович¹, аспірант, expertgaranto@gmail.com, тел. +380997310390

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Концепция системы управления пневматической подвеской КТС категории N₃, M₃

Аннотация. Приведен обзор систем управления пневматической подвеской, определено современное состояние бортовых систем управления колесных транспортных средств. Представлена концепция распределенной системы управления пневматической подвеской колесных транспортных средств с мехатронными модулями. Рассмотрены компоненты и алгоритм работы новой системы управления пневматической подвеской.

Ключевые слова: система управления, пневматическая подвеска, пневматический контур, пневматический баллон, давление.

Михалевич Николай Григорьевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобилей им. А.Б. Гредескула, mkolyag@gmail.com, тел. +38 050-343-18-27,

Савченко Евгений Лукич¹, аспирант, тел. +38 050-343-81-00, ev.gentleman@ukr.net,

Гармаш Антон Андреевич¹, аспирант, expertgaranto@gmail.com, тел. +380997310390

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

Air suspension control system concept for N₃, M₃ category vehicles

Abstract. Problem. In the automotive industry, controlled suspension systems are widely used. At the initial stages of development of onboard control systems, in accordance with the degree of development of electronic components and communication channels, devices based on the analog principle of receiving, processing, monitoring and transmitting signals were used. The rapid development of digital technologies and, in particular, microcontrollers and high-speed digital communication channels, encourages the improvement of existing and the creation of new on-board control systems. At present, the problem of creating a progressive concept of the air suspension control system for wheeled vehicles of this category remains urgent. **Goal.** The purpose of the work is to substantiate the choice of the concept of the control system of the air suspension for wheeled vehicles of a certain category and to consider the algorithm of its operation. **Methodology.** The perspective method of control, monitoring and increase of efficiency of functioning of the onboard distributed control system of a pneumatic suspension bracket of wheeled vehicles on the basis of the organization of autonomous knots is realized. **Results.** The schematic diagram, structure and components of the controlled air suspension of wheeled vehicles of a certain category, as well as the algorithm of the distributed control system based on a set of intelligent mechatronic modules connected by a high-speed data channel are presented. **Originality.** A new concept of the pneumatic suspension control system of wheeled vehicles is proposed. A new approach to improving the efficiency of operation and ensuring the efficiency of the control system of air suspension of wheeled vehicles based on the use of information network environment is proposed. Unlike the traditional approach, the proposed approach has a greater degree of flexibility in the mechanism of its implementation and operation. **Practical value.** The proposed system provides for the possibility of upgrading existing wheeled vehicles not equipped with electronic air suspension control systems, while maintaining the structure of the existing pneumatic drive with a short length of pipelines, by unifying the mounting points of the mechanical control valve.

Key words: control system, air suspension, air circuit, air cylinder, pressure.

Mikhalevich Mikolaii¹, Ph.D., Assoc. Prof., mkolyag@gmail.com, tel. +38 050-343-18-27,

Savchenko Ievhen¹, graduate student, tel. +38 050-343-81-00, ev.gentleman@ukr.net,

Harmash Anton¹, graduate student, expertgaranto@gmail.com, tel. +380997310390

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