

Мобільні і стаціонарні енергозасоби та їх елементи Mobile and stationary power units and their elements



УДК 629.3.027

Синтез алгоритму керування тиском повітря в шинах з урахуванням параметрів динамічної системи підресорювання корпусу колісних транспортних засобів підвищеної прохідності

О.А. Макогон¹, І.А. Черепньов², О.П. Клімов³, О.В. Косарєв⁴,
О.П. Пономаренко⁵, О.О. Кумпан⁶, Є.М. Шпінда⁷

^{1, 3, 4, 5, 6, 7} Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «ХПІ» (м. Харків, Україна), e-mail: ¹ helmkg@ukr.net, ³ klimovaleksej800@gmail.com, ⁴ kosarev13@ukr.net, ⁵ petrovich_76_76@ukr.net, ⁶ kss_tsd_fvp_@ukr.net, ⁷ z1103mzaq@gmail.com;

² Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка (м. Харків, Україна), e-mail: voenpred314@ukr.net

Предметом вивчення в статті є процеси зміни тиску повітря в шинах колісного транспортного засобу в залежності від мікропрофілю дорожнього покриття. Метою дослідження є аналіз основних систем керування тиском в шинах та їх складу; вибір варіантів оптимального закону зміни тиску в шинах за умов покращення параметрів динамічної системи підресорювання корпусу КТЗ експлуатації машини в реальних умовах.

Задачі: провести аналіз особливостей застосування колісного транспортного засобу у різноманітних дорожніх умовах; зробити огляд систем керування тиском повітря в шинах та їх розвиток; оцінити зв'язок параметрів динамічної системи підресорювання корпусу та тиску повітря в шинах колісного транспортного засобу; розробити алгоритм регулювання швидкості зміни тиску в автоматизованій системі керування.

Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. А саме: теоретичні положення аналітичної механіки – рівняння Лагранжа в узагальнених координатах – були використані для опису збуреного руху підресореної частини корпусу КТЗ та створення математичної моделі; порівняльний аналіз існуючих систем керування тиском повітря в шинах та аналіз їх розвитку був покладений в основу синтезу алгоритму керування тиском повітря в шинах КТЗ підвищеної прохідності.

Отримані такі результати. Отримана аналітична залежність величини динамічного ходу амортизатора від швидкості зміни тиску в повітряній системі, яка покладена в основу алгоритму регулювання тиску повітря в шинах колісного транспортного засобу, дозволяє максимально врахувати швидкісні реакції підвіски на зміну мікропрофілю рельєфу місцевості.

Висновки. Визначення аналітичних залежностей параметрів динамічної системи підресорювання корпусу та тиску повітря в шинах дає можливість розробки ефективного алгоритму регулювання швидкості зміни тиску. Відпрацювання алгоритму зміни тиску повітря в шинах у автоматизованій системі керування надасть можливість водієві і його пасажиром більш комфортно пересуватися на транспортному засобі незалежно від стану доріг або їх відсутності; подовжить пробіг шин до руйнування, скоротить час роботи компресора під навантаженням; знизить потужність, що витрачається двигуном на привод допоміжного обладнання.

Ключові слова: динамічні параметри руху, рівень коливань підресореної частини корпусу колісного транспортного засобу, система керування тиском повітря в шинах, оптимальні параметри зміни тиску повітря в шинах.

Постановка проблеми та завдання дослідження. Для колісних транспортних засобів багатопроцільового призначення велике значення має питання підвищення їх прохідності. Одним з ефективних методів підвищення опорної прохідності КТЗ можна вважати регулювання тиску повітря в шинах.

При зміні мікропрофілю дорожнього покриття, умов руху машини, водій КТЗ здійснює відпрацювання вибору поверхні рельєфу і, відповідно, змінює тиск в шинах.

Звісно, зміна тиску не відбувається миттєво, а потребує певного часу. В той же час, механік-водій

повинен оцінити відстань до місця зміни рельєфу та/або час, необхідний для зміни тиску. При чому, за дослідженнями фахівців, відомо, що сенсорно-розумова діяльність водія має кращі показники стосовно прийняття рішень за просторово-візуальними спостереженнями, ніж за часовими.

Функціонал існуючих систем контролю (моніторингу) тиску в шинах колісних транспортних засобів зазвичай не враховує зв'язок параметрів динамічної системи підресорювання корпусу та тиску повітря в шинах колісного транспортного засобу підвищеної прохідності.

Тобто, виникає необхідність відпрацювання такого алгоритму зміни тиску в шинах, який би забезпечував найефективніше використання роботи газу при перетворенні її в кінетичну енергію динамічного ходу амортизатора задля зменшення повздовжньо-кутових коливань.

Задача полягає у визначенні аналітичних залежностей параметрів динамічної системи підресорювання корпусу та тиску повітря в шинах та розробки на її основі алгоритму регулювання швидкості зміни тиску в автоматизованій системі керування.

Вхідною інформацією для синтезу автоматизованої алгоритму керування будемо вважати такі параметри руху КТЗ як швидкість руху, тиск у повітряній системі, висота кузова та параметри рельєфу місцевості.

Вихідною інформацією для встановлення оптимальних параметрів системи будемо вважати коефіцієнт зміни тиску, реалізований у законі регулювання тиску повітря в шинах машини через величину сигналу на виконавчі механізми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасний стан розвитку конструкції систем контролю (моніторингу) тиску в шинах колісних транспортних засобів характеризується двома напрямками вирішення проблеми вимірювання тиску повітря в шинах: систем прямого та непрямого вимірювання тиску [1].

За основу *першого напрямку* була прийнята базова схема прямого вимірювання, що містить:

- напівпровідникові тензодатчики тиску, мікроконтролер обробки даних первинних вимірювань;
- приймально-передавальний пристрій і джерело автономного живлення, розміщені у монолітних блоках усередині кожної шини;
- безпроводний електронний блок приймання та обробки інформації, підключений до електронного блока керування з покажчиком або бортового комп'ютера в салоні транспортного засобу;
- антenu, світловий чи звуковий індикатори (рис. 1).

До основних технічних проблем, з якими довелось зіткнутися розробникам систем *першого напрямку*, відносяться:

- значний вплив температури всередині шини на результати вимірювання тиску, що вимагає

введення до складу вимірювальної частини датчиків температур з метою компенсації температурної похибки;

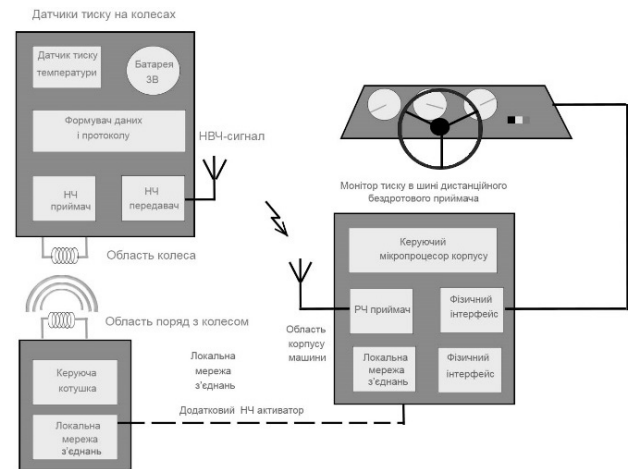


Рис. 1. Структурна схема системи моніторингу тиску в шинах прямого вимірювання

- екрануюча дія металокорду шин для радіосигналів, що вимагає зміни конструкції і матеріалів корду шин;

- недостатня потужність монолітного блока датчиків і його елементів, зокрема літєвих батарей в умовах значних перевантажень (понад 250 g при швидкості більше 150 км/год.);

- обмежений ресурс джерел живлення і жорсткі обмеження за температурою (- 20 ... +1000С);

- значна трудомісткість монтажу в колесах автомобіля, обумовлена необхідністю розбортування шин з обов'язковим подальшим балансуванням.

Вирішення останніх 3-х технічних проблем в даний час не знайдено, і вони утворюють комплекс недоліків систем прямого вимірювання, що доповнюється обмеженням області їх застосування безкамерними шинами без металокорду.

Слід зазначити те, що дефекти конструкції корду шин логічно ніяк не пов'язані із моніторингом тиску, а виявленням неприпустимого зносу корду повинна займатися діагностика стану шин. Розв'язання цієї задачі виходить за межі потенційних можливостей систем прямого вимірювання тиску.

Другий напрямок заснований на непрямому вимірюванні різниць тиску за частотою обертання коліс (рис. 2) і отримав розвиток в кінці 80-х років 20 століття, коли був опублікований патент на спосіб непрямого вимірювання тиску.

В основі способу лежить лінійна залежність статичного радіуса шини від тиску повітря в ній, що визначається законом Гука для пружних деформацій. За експериментальними даними для шин із статичними радіусами від 250 до 320 мм зміна тиску на 100 кПа супроводжується зміною

статичних радіусів на 1 мм. При прямолінійному русі без проковзувань усі колеса автомобіля мають однакові лінійні швидкості, а кутові швидкості певним чином залежать від статичних радіусів і, відповідно, від тиску. Падіння тиску в шині призводить до того, що колесо починає обертатися дещо швидше за інші. Вимірювання частот та їх обробка дозволяють оцінити різницю тисків та їх абсолютних значень.

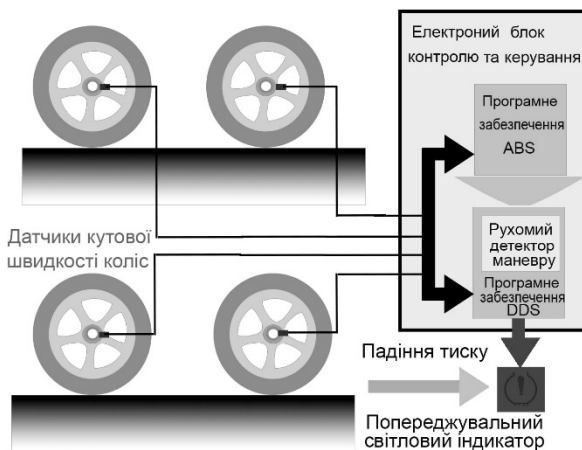


Рис. 2. Структурна схема системи моніторингу тиску в шинах непрямого вимірювання

Привабливість цього способу полягає в тому, що він не вимагає для своєї технічної реалізації ніяких додаткових апаратних засобів, якщо автомобіль обладнаний датчиками антиблокувальної системи Antilock Brake System (ABS) і бортовим комп'ютером для обробки і відображення результатів вимірювань. В даний час для автомобілів з ABS фірми Dunlop і Continental розробили системи Warnair і DDS (Display and Debrief Subsystem), запропоновані як додаткова функція в складі Electronical Stability Programm (ESP) для автомобілів GM, BMW M3, 5, 7 серій і Mercedes Benz S і E класів та інших.

До недоліків цього методу відносяться:

- неможливість ідентифікації положення колеса з шиною зниженого тиску, що обумовлене інтегральним видом функціонала F, використаного для оцінки;
- неможливість виявлення одночасного зниження тиску в недиагональних парах шин;
- значний (для частот) рівень похибки вимірювань (0,2%), що обмежує порогові значення виявлення падіння тиску рівнем ~ 60 кПа;
- додатковий вплив на сумарну похибку роблять мікроковзання коліс і проходження віражів, що супроводжується помилковими спрацьовуваннями аварійної сигналізації.

Спроби інженерів подолати зазначені недоліки впродовж останніх 15 років супроводжувалися незначними досягненнями.

Включення ж програм непрямих вимірювань як додаткову опцію ESP в даний час носить швидше рекламний характер. Крім того, область застосування систем непрямого вимірювання обмежується автомобілями, обладнаними датчиками ABS і бортовими комп'ютерами. Система не здатна виявити різницю тиску менше 30 %. Також при заміні шини потрібне додаткове регулювання системи на основі повторного вимірювання динамічних співвідношень між всіма колесами. В результаті виникає необхідність довічного обслуговування і періодичного калібрування. Крім того, система дозволяє тільки порівнювати параметри коліс і не може незалежно оцінити кожне колесо, тому неможливо виявити дефект за ситуації, коли, наприклад, всі чотири шини недостатньо накачані, що досить часто трапляється після тривалого періоду експлуатації.

Перспективними подальшими дослідженнями у цьому напрямку можуть бути визначення основних елементів системи регулювання тиску повітря в шинах, що найбільше впливають на динаміку руху транспортного засобу та визначення критеріальної оцінки ефективності роботи системи для покращення динамічних характеристик руху [2].

Відома система регулювання тиску повітря в шинах колісних транспортних підвищеної прохідності (Урал Краз, Камаз, БТР) дозволяє короткочасно продовжувати рух без заміни колеса за умови, що подача компресора може заповнити виток повітря з пошкодженої шини. Недоліком даного пристрою є неможливість автоматичної підтримки заданого тиску повітря в шинах і автоматичної компенсації падіння тиску повітря в шинах при пробитті колеса, що знижує прохідність, швидкість, стійкість і керуваність машини в русі [3-5].

Використання енергії коливань підвіски. Цікавим технічним рішенням можна вважати використання частини енергії коливань підвіски для створення запасу стисненого повітря. Технічний результат досягається тим, що система регулювання тиску повітря в шині дозволяє автоматично змінювати тиск повітря в шині в залежності від мікропрофілю дорожньої поверхні, в результаті чого максимально використовуються демпфіруючі властивості шини для гасіння коливань, а також шина з автоматичною системою регулювання тиску повітря дозволяє використовувати енергію коливань для здійснення корисної роботи. На рис. 3 показана автоматична система регулювання тиску повітря в шині, що використовує демпфіруючі властивості шини.

Організація робочого процесу з використанням запропонованої системи призводить до автоматичної зміни тиску повітря в шині в залежності від мікропрофілю дорожньої поверхні, в результаті чого максимально використовуються демпфіруючі властивості шини для гасіння коли-

вань, а також частково використовується енергія коливань для створення запасу стисненого повітря, що знижує час роботи компресора під навантаженням, а отже знижує і потужність, затрачену двигуном на привід допоміжного обладнання.

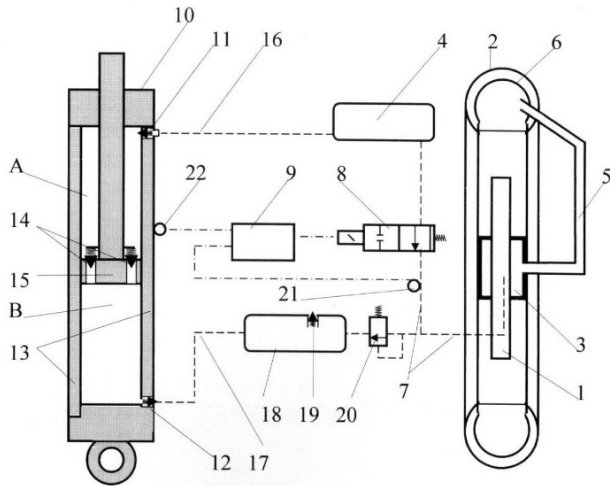


Рис. 3. Регулювання тиску повітря в шині з використанням демпфруючих властивостей шин: 1 – цапфа; 2 – колесо; 3 – внутрішнє ущільнення; 4 – повітряний ресивер; 5 – трубопровід; 6 – пневматична шина; 7 – основна магістраль; 8 – електромагнітний клапан; 9 – блок управління; 10 – поршневий насос-амортизатор; 11, 12, 14 – перепускний клапан; 13 – корпус; 15 – поршень; 16 – додаткову магістраль накачування; 17 – магістраль зниження тиску; 18–19 – запобіжний клапан; 20 – редуктор тиску; 21 – датчик тиску; 22 – датчик вертикальних коливань.

Однак, до теперішнього часу, навіть у сучасних автомобілів параметри систем регулювання тиску повітря в шинах забезпечують час зниження або підвищення тиску повітря в шинах до 10-12 хвилин, що обумовлює надмірний час адаптації колісного рушія до дорожніх умов. Водіїв доводиться або робити тривалі зупинки перед кожним важкопрохідною ділянкою дороги, щоб приготуватися до його подолання, або, що буває набагато частіше, експлуатувати автомобіль з неприйнятним для дорожніх умов тиском в шинах. При цьому застосування навіть великогабаритних еластичних шин не дає на практиці потрібного ефекту.

Таким чином, аналіз елементів системи регулювання тиску повітря в шинах вітчизняного виробництва показав, що вони мають ряд суттєвих недоліків, зокрема: в більшості систем відсутні елементи (механізми) автоматичної підтримки необхідного тиску; велика похибка вимірювань тиску елементів контролю тиску, а в більшості колісних транспортних засобах такі елементи

відсутні взагалі; відсутність в системі елемента контролю швидкості; відсутність в конструкції звукових та світлових елементів сигналізації про несправність і пошкодження елементів системи і колісного рушія; доволі низька продуктивність джерела стислого повітря; широкий діапазон зміни тиску в шинах, що вимагає від водіїв глибоких знань експлуатаційних вимог до конкретного зразка колісного транспортного засобу.

Сучасний стан розвитку конструкції систем контролю (моніторингу) тиску в шинах колісних транспортних засобів характеризується двома напрямками вирішення проблеми вимірювання тиску повітря в шинах: систем прямого та непрямого вимірювання тиску.

У порівнянні з системами непрямого вимірювання, системи з прямим методом мають такі недоліки, як велика вартість установки, обмежений термін служби вбудованої батареї і потенційна можливість пошкодження датчика при заміні шин або при ударі.

Цікавими технічними рішеннями можна вважати використання частини енергії коливань підвіски для створення запасу стисненого повітря [6].

Параметри існуючих систем регулювання тиску повітря в шинах забезпечують час зниження або підвищення тиску повітря в шинах, що доходить до 10-12 хвилин, що обумовлює надмірне час адаптації колісного рушія до дорожніх умов.

Зв'язок параметрів динамічної системи піддресорування корпусу та тиску повітря в шинах викликає необхідність розробки ефективного алгоритму регулювання швидкості зміни тиску.

Метою статті є на основі аналізу основних систем керування тиском в шинах та їх складу обрати варіанти оптимального закону зміни тиску в шинах за умов покращення параметрів динамічної системи піддресорування корпусу КТЗ експлуатації машини в реальних умовах.

Виклад основного матеріалу. Під час руху КТЗ піддається різним зовнішнім впливам, які прагнуть вивести його зі стану рівноваги, у результаті чого він робить змушені коливальні рухи як вертикальні, так і кутові поздовжні й поперечні.

Найбільш шкідливими є поздовжні кутові коливання, тому що в цьому випадку вертикальні прискорення й амплітуда коливань у носі машини мають найбільші значення в порівнянні з іншими видами коливань і в цьому випадку найбільш імовірні пробої крайніх вузлів підвіски.

Ці коливання приводять до зниження швидкості автомобіля, затрудняють керування й спостереження з машини й погіршують ефективність ведення вогню з основного й допоміжного озброєння КТЗ. Від періоду коливань піддресореної частини корпусу машини залежить самопочуття й боєздатність екіпажа. При зміні мікропрофілю дороги, умов руху машини, водій КТЗ здійснює

відпрацювання вибору поверхні рельєфу і, відповідно, змінює тиск в шинах. Зміна тиску не відбувається миттєво, а потребує певного часу.

У тій же час, механік-водій повинен оцінити відстань до місця зміни рельєфу та/або час, необхідний для зміни тиску.

Розрахункова схема підвіски КТЗ наведена на рис. 4. Введемо в розгляд дві системи координат: рухливу та зв'язану.

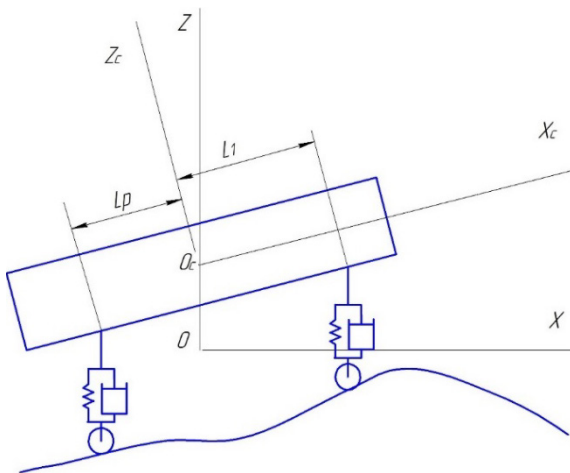


Рис. 4. Розрахункова схема підвіски

Рухлива система координат OXYZ представляє собою систему ортогональних осей незмінного напрямку, що переміщається разом із центром мас КТЗ O_c , причому початок рухливої системи координат O збігається із центром мас підресореної частини КТЗ O_c у випадку, якщо КТЗ перебуває в стані спокою або рівномірного прямолінійного руху по горизонтальній площині;

Зв'язана система координат $O_cX_cY_cZ_c$, незмінно зв'язана з підресореною частиною корпусу машини й має початок у її центрі мас, причому осі O_cX_c , O_cZ_c і O_cY_c збігаються з головними осями інерції підресореної частини корпусу.

При прямолінійному русі КТЗ по пересіченій місцевості поточне положення зв'язаної системи координат щодо рухливої системи координат визначається двома узагальненими координатами: положенням центра мас підресореної частини корпусу $z(t)$ щодо положення сталої рівноваги, у якому обидві системи координат збігаються; кутовим положенням зв'язаних осей підресореної частини корпусу КТЗ $\varphi(t)$ щодо осей рухливої системи координат.

При зміні мікропрофілю дороги, умов руху машини, водій КТЗ здійснює відпрацювання вибору поверхні рельєфу і, відповідно, змінює тиск в шинах.

Тобто, від алгоритму регулювання тиску в шинах доцільно вимагати виконання умови рівності нулю похідної функції Лагранжа $L = T - \Pi$.

Отримуємо,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial q'_i} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Pi}{\partial q'_j} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial q'_i} = \frac{\partial \Pi}{\partial q'_j}$$

де T – кінетична енергія динамічної системи; Π – робота газу при зміні тиску повітря в шинах; q_i, q_j – відповідні координати.

$$q'_1(t) = z'(t); \quad q_2(t) = p(t); \quad q'_2(t) = p'(t).$$

Інші координати будемо вважати циклічними, тобто не входять до рівняння Лагранжа, їх похідні дорівнюють нулю [7-10].

Оскільки, із закону збереження енергії відомо, що енергія не виникає нізвідки, впливає висновок, що енергія коливань, спричинених мікропрофілем дороги, є перетворенням енергії стисненого газу у повітряній системі.

Для формалізації процесу зміни тиску повітря в шинах встановимо залежність

$$p(t_i) = p(t_{i+1}) + kp^* \cdot t \quad (2)$$

де k – коефіцієнт зміни тиску, Па/с. Коефіцієнт може приймати додатне або від'ємне значення. p^* – швидкість зміни тиску в повітряній системі.

Величина p^* залежить від властивостей перепускних клапанів повітряної системи КТЗ.

Робота, здійснена повітрям в шинах, визначається як

$$\begin{aligned} \Pi &= \int_{V_H}^{V_K} P dv = \int_{V_H}^{V_K} \frac{RT}{v} dv = \\ &= RT \int_{V_H}^{V_K} \frac{dv}{v} = RT \ln \frac{V_K}{V_H} = \\ &= p(t) V \ln \frac{p_H(t)}{p_K(t)} = \\ &= p_H(t) V \ln \frac{p_H(t)}{p_K(t) + pt} \end{aligned} \quad (3)$$

де P_H – початковий тиск, P_K – кінцевий тиск в повітряній системі машини.

Вираз (1) з урахуванням (2) та диференціювання (3) буде спрощений у наступний спосіб:

$$\frac{G_n z''(t)^2}{g} = \frac{kp(t)v}{p(t) + kt} \quad (4)$$

Таким чином, отримана аналітична залежність величини динамічного ходу амортизатора від швидкості зміни тиску в повітряній системі, яка може бути покладена в основу алгоритму регулювання тиску повітря в шинах КТЗ.

Зазначимо, що у аналітичній залежності (1) не враховані природні збитки енергії, що відбуваються в процесі зміни величини динамічного ходу

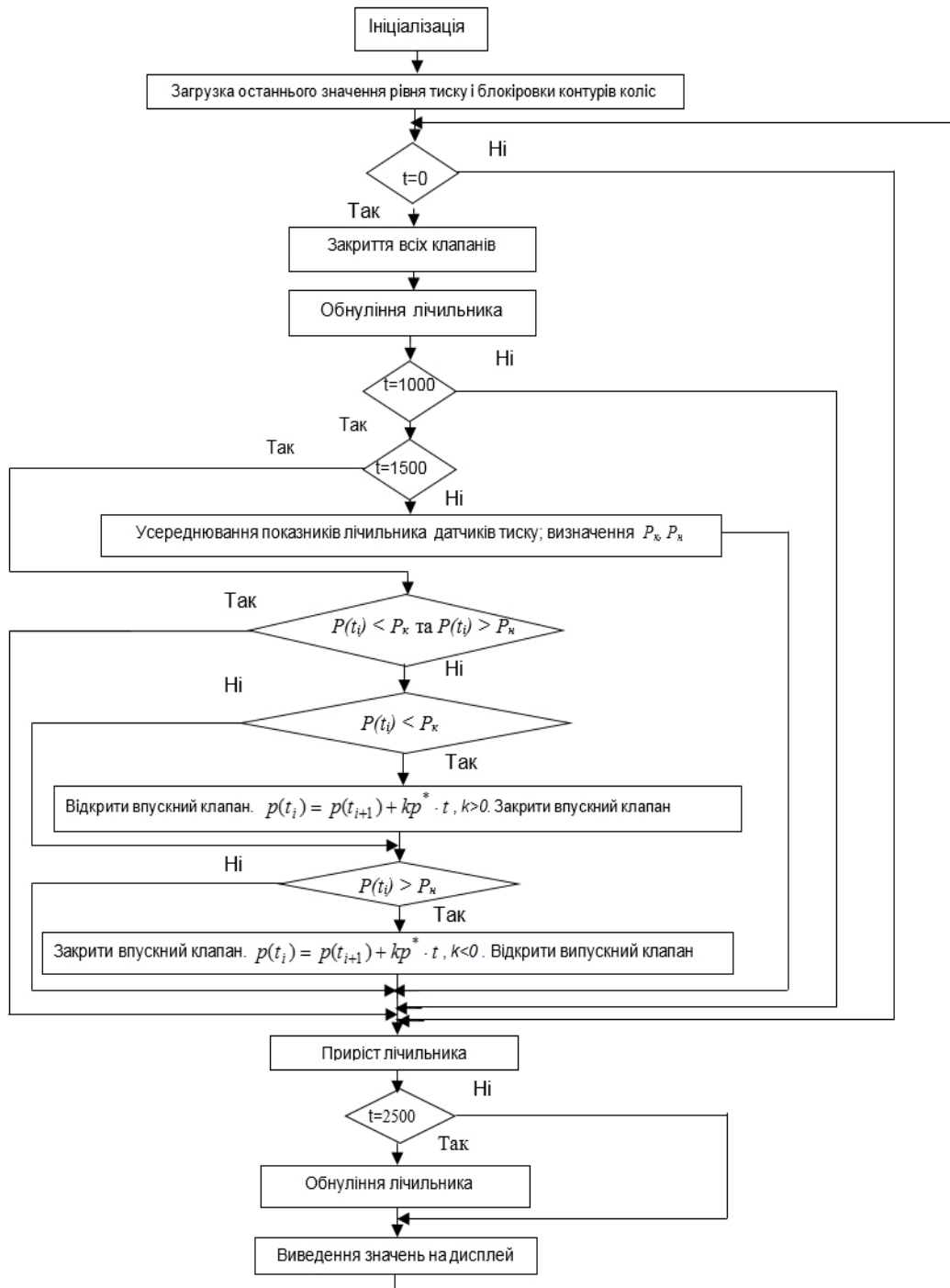


Рис. 5. Алгоритм регулювання тиску в шинах

амортизатора. Передбачається, що ця похибка відпрацьовується алгоритмі програмної реалізації регулювання тиску повітря в шинах КТЗ.

Алгоритм програмної реалізації регулювання тиску повітря в шинах КТЗ

Пропонуємо алгоритм регулювання тиску повітря в шинах КТЗ може бути апаратно реалізований шляхом обробки у мікроконтролері вхідної інформації, отриманої з датчиків. Такою

вхідною інформацією будемо вважати швидкість руху КТЗ, тиск у повітряній системі, висота кузова та параметри рельєфу місцевості.

Передбачається, що датчики тиску встановлені не безпосередньо в шині, а у повітряній магістралі. КТЗ. Для відпрацювання алгоритму зміни тиску повітря передбачено здійснювати опитування датчиків періодично, при закритих клапанах накачування та скидання, після

стабілізації тиску в контурі. Ця функція забезпечить надійний зворотній зв'язок у роботі алгоритму. За результатами вимірювань визначається початковий та кінцевий тиск в повітряній системі КТЗ. Згідно показників датчиків за аналітичними залежностями, описаними вище, обчислюється коефіцієнт зміни тиску. За цими даними визначається який клапан на який час відкривається та коефіцієнт зміни тиску, що будемо вважати вихідною інформацією для встановлення оптимальних параметрів у законі регулювання тиску повітря в шинах машини через величину сигналу на виконавчі механізми.

Тривалість часу відкриття клапанів та стабілізації показників датчика визначається числом ітерацій. Попередньо пропонується здійснювати 2500 ітерацій. Блок-схема алгоритму регулювання тиску в шинах наведена на рис. 5.

Технічну реалізацію алгоритму автоматизованого керування тиском повітря в шинах пропонується здійснити за рахунок зниження тиску в шинах, що підвищить прохідність КТЗ на складних ділянках місцевості. У випадку незначного пошкодження камер система дозволить продовжити рух за умови витoku повітря з пошкодженої шини. На рис. 6 представлена пневматична схема тиском повітря в шинах КТЗ.

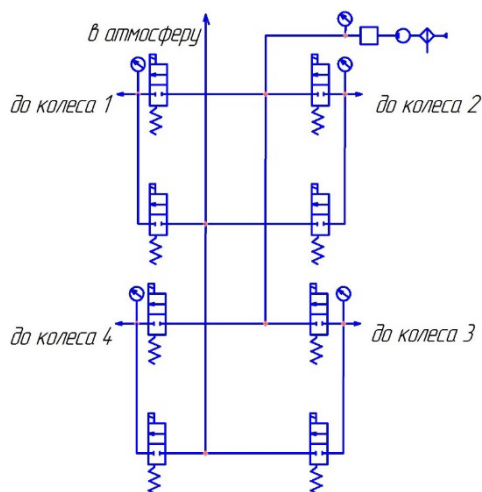


Рис. 6. Пневматична схема системи регулювання тиску повітря в шинах

В якості виконавчих пристроїв використовуються моностабільні електромагнітні клапани 2/2. Контур кожного колеса, а також ресивер, обладнані окремими датчиками тиску. У більшості випадків встановлення датчиків тиску безпосередньо в шині КТЗ є проблематичним, оскільки потребує організації надійного зворотного зв'язку між датчиком та прийомним пристроєм. Тому в даній системі датчики тиску розташовані у повітряних магістралях в контурі поблизу коліс.

Пропонується на незалежне управління тиском в контурі чотирьох коліс. Джерелом стиснутого повітря є бортовий компресор. Контур кожного колеса обладнаний двома пневмоклапанами, один з яких використовується подачі повітря з ресивера при накачці, другий – для скидання повітря в атмосферу при зниженні тиску.

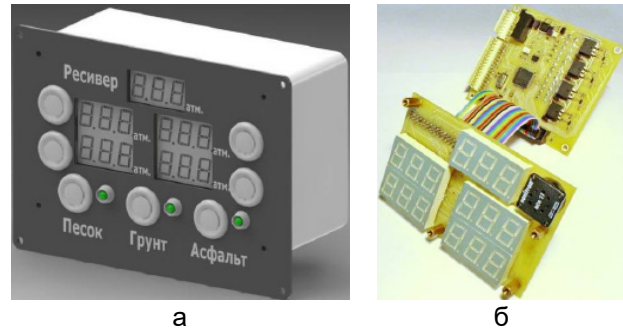


Рис. 7. Блок управління: а – загальний вигляд; б – плата

Алгоритм може підтримувати три попередньо передбачених рівня тиску повітря в шинах в залежності від дорожніх умов та швидкості руху (низький, середній, високий), при цьому вибір необхідного рівня тиску проводиться в автоматизованому режимі з участю механіка-водія. Також на панелі управління передбачена можливість примусового відключення від системи підкачки будь-якого з коліс з метою забезпечення більш ефективного розподілу повітря, що поступає з ресивера, наприклад, при пробитті одного з коліс. Апаратно це реалізовано за допомогою елемента "АБО".

Система підкачки шин має можливість вимірювати параметри руху КТЗ за допомогою датчиків та зв'язана з бортовою мережею CAN. При перевищенні максимально допустимої швидкості руху при даному тиску система дає попереджувальний звуковий сигнал.

Як варіант апаратної реалізації може бути використаний блок управління, реалізований на базі 32-х розрядного мікроконтролера PIC32 компанії Microchip. Елементна база блока управління дозволяє використовувати його при температурі від -45°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Крім плати управління передбачено використання плати індикації (рис. 7) [11]. Управління електромагнітними клапанами здійснюється за допомогою силових польових транзисторів.

Блок живлення має у складі імпульсний перетворювач напруги. Поточні значення тиску в шинах відображаються на крупних семі сегментних індикаторах. Корпус захищений від попадання бруду та пилу [12].

Висновки.

1. Сучасний стан розвитку конструкції систем контролю (моніторингу) тиску в шинах колісних транспортних засобів характеризується двома напрямками вирішення проблеми вимірювання тиску повітря в шинах: систем прямого та непрямого вимірювання тиску.

2. Визначення аналітичних залежностей параметрів динамічної системи підресорювання корпусу та тиску повітря в шинах дає можливість розробки ефективного алгоритму регулювання швидкості зміни тиску.

3. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що відпрацювання алгоритму зміни тиску повітря в шинах у автоматизованій системі керування надасть можливість водієві і його пасажирам більш комфортно пересуватися на транспортному засобі незалежно від стану доріг або їх відсутності; подовжить пробіг шин до руйнування, скоротить час роботи компресора під навантаженням; знизить потужність, що витрачається двигуном на привод допоміжного обладнання.

Література

1. Боевые колесные машины (армейские автомобили и бронетранспортеры) / [В.И. Медведков, Я.С. Агейкин, Д.А. Антонов та ін.]. – М.: Воениздат, 1974. – 378 с.

2. Бойко О.Д. Тенденції розвитку систем регулювання тиску повітря в шинах / О.Д. Бойко // Вісник ЖДТУ. – 2009. – № 1 (48). – С. 11-21.

3. Бронетранспортер БТР-80. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 2 / [ред. Евграфьев А.Г.]. – М.: Военное издательство, 1990. – 163 с.

4. Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили / Владимир Федорович Платонов — М.: Машиностроение, 1989. – 311 с.

5. Азаматов Р.А. Полноприводный КамАЗ / Р.А. Азаматов, Г.А. Смирнов, И.В. Сазонов [та ін.] // Автомоб. пром-сть. – 1992. – № 6. – С. 6-9.

6. Патент №2457118. МПК В60С 23/02. Автоматическая система регулирования давления воздуха в шине / Бугаев С.В., Васильченко В.Ф., Гладков Р.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Рязанский автомобильный институт имени В.П. Дубынина. – № 2009116910/11; заявл. 04.05.2009; опубл. 27.07.2012 Бюл. № 21.

7. Колебания в транспортных машинах / [Александров Е.Е., Грита Я.В., Дущенко В.В. и др.]; – Харьков: ХДПУ, 1996. – 256 с.

8. Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика: учебник / Ю.Ф. Лачуга, В.А. Ксендзов – М.: КолосС, 2005 - 576 с.

9. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / С.М. Тарг. – М.: Высш.шк., 2001. – 416 с

10. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: статика, кинематика, динамика: [учеб. пособие для вузов по техн. специальностям] / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. – М.: ИНТЕГРАЛ-ПРЕСС, 2006. – 603 с.

11. Документація контролера PIC 32 PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet (05/09/2001). [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61156G.pdf>.

12. Басов А.О. Разработка системы управления давления в шинах [Електроний ресурс] / А.О. Басов // Молодежный научно-технический вестник. – 2013. – №9. – С. 11-16. – Режим доступу: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/618524.html>.

References

1. Medvedkov, V.I., Ageikin, Y.S., Antonov, D.A., Arzhanuhin, G.V., Bilyk, S.T., Komarov, Yu.N., Mamiliev, A.I. and Tchaikovskiy, P.I. (1974), *Boyevyye kolesnyye mashiny (armeyskiye avtomobili i bronetransportery)* [Combat wheeled vehicles (army cars and armored personnel carriers)], *Voenizdat, Moscow*, 378p.

2. Boyko, O.D. (2009), "Trends in the development of air pressure control systems in tires", *Journal of ZHDTU, Zhytomyr*, № 1 (48), pp. 11-21.

3. Evgrafiev, A.G. (ed.), (1990), *Bronetransporter BTR-80. Tekhnicheskoye opisaniye i instruksiya po ekspluatatsii. Chast' 2* [Armored Personnel BTR-80. Technical description and instruction manual. Part 2], *Voyennoye izdatel'stvo, Moscow*, 163p.

4. Platonov, V.F. (1989), *Polnoprivodnyye avtomobili* [Four-wheel drive vehicles], *Mashinostroyeniye, Moscow*, 311p.

5. Azamatov, R.A., Smirnov, G.A., Sazonov, I.V., Popov, S.D. (1992), "Four-wheel drive KamAZ", *Avtomobil'naya promyshlennost'*, № 6, pp. 6-9.

6. Bugaev, S.V., Vasilchenkov, V.F., Gladkov, R.V., Muzychenko, T.Yu., Poltavets, V.V., Shamardanov, Y.Yu. and Shchennikov, M.D. *Ryazanskiy avtomobil'nyy institut imeni V.P. Dubynina* (2012), *Avtomaticheskaya sistema regulirovaniya davleniya vozdukha v shine* [Automatic tire pressure control system], Federal Service for Intellectual Property, Ryazan, RU, Pat. № 2457118.

7. Aleksandrov, Ye.Ye., Grita, YA.V., Dushchenko, V.V., Yepifanov, V.V., Kokhanovskiy, N.V., Medvedev, N.G. and Pankratov, V.P. (1996), *Kolebanija v transportnyh mashinah* [Oscillations in transport vehicles], *HDPU, Kharkov*, 256p.

8. Lachuga, Yu.F. and Ksendzov, V.A. (2005), *Teoreticheskaya mekhanika: uchebnik* [Theoretical mechanics: a textbook], KolosS, Moscow, 576p.

9. Targ, S.M. (2001), *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: ucheb. dlya studentov vyssh. tekhn. ucheb. zavedeniy* [Short Course of Theoretical mechanics: the textbook for students], Vysshaya Shkola, Moscow, 416p.

10. Yablonsky, A.A. and Nikiforova V.M. (2006) *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: statika, kinematika, dinamika. Ucheb. posobiye dlya vuzov po tekhn. spetsial'nostyam* [Course of Theoretical Mechanics: Statics, Kinematics, Dynamics. Textbook for high

schools on technical. specialties], INTEGRAL-PRESS, Moscow, 603p.

11. Quality Management System certified by DNV. (2009), ISO TS 16949: 2002 – PIC32MX5XX/6XX /7XX Data Sheet USB, CAN and Ethernet 32-bit Flash Microcontrollers, Microchip Technology Inc., Chandler, Arizona, USA, available at: <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviseDoc/61156G.pdf>.

12. Basov, A.O. (2002), "Development of tire pressure control system", *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskyy vestnik. MGTU im. Baumana*, vol. 9, pp. 11-13, available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/618524.html>.

Аннотация

Синтез алгоритма управления давлением воздуха в шинах с учетом параметров динамической системы подрессоривания корпуса колесных транспортных средств повышенной проходимости

Е.А. Макогон, И.А. Черепнев, А.П. Климов, А.В. Косарев,
А.П. Пономаренко, А.А. Кумпан, Е.М. Шпинда

Предметом изучения в статье являются процессы изменения давления воздуха в шинах колесного транспортного средства в зависимости от микропрофиля дорожного покрытия. Целью исследования является анализ основных систем управления давлением в шинах и их состав; выбор вариантов оптимального закона изменения давления в шинах в условиях улучшения параметров динамической системы подрессоривания корпуса КТС эксплуатации машины в реальных условиях.

Задачи: провести анализ особенностей применения колесного транспортного средства в различных дорожных условиях; сделать обзор систем управления давлением воздуха в шинах и их развитие; оценить связь параметров динамической системы подрессоривания корпуса и давления воздуха в шинах колесного транспортного средства; разработать алгоритм регулирования скорости изменения давления в автоматизированной системе управления.

Методологической основой исследования стали общенаучные и специальные методы научного познания. А именно: теоретические положения аналитической механики – уравнения Лагранжа в обобщенных координатах – были использованы для описания возмущенного движения подрессоренной части корпуса КТС и создания математической модели; сравнительный анализ существующих систем управления давлением воздуха в шинах и анализ их развития был положен в основу синтеза алгоритма управления давлением воздуха в шинах КТС повышенной проходимости.

Получены следующие результаты. Полученная аналитическая зависимость величины динамического хода амортизатора от скорости изменения давления в воздушной системе, которая положена в основу алгоритма регулирования давления воздуха в шинах колесного транспортного средства, позволяет максимально учитывать скорость реакции подвески на смену микропрофилю рельефа местности.

Выводы. Определение аналитических зависимостей параметров динамической системы подрессоривания корпуса и давления воздуха в шинах дает возможность разработки эффективного алгоритма регулирования скорости изменения давления.

Отработка алгоритма изменения давления воздуха в шинах в автоматизированной системе управления позволит водителю и его пассажирам более комфортно передвигаться на транспортном средстве независимо от состояния дорог или их отсутствия; удлинит пробег шин до разрушения, сократит время работы компрессора под нагрузкой; снизит мощность, затрачиваемая двигателем на привод вспомогательного оборудования.

Ключевые слова: динамические параметры движения, уровень колебаний подрессоренной части корпуса колесного транспортного средства, система управления давлением в шинах, оптимальные параметры изменения давления воздуха в шинах.

Abstract

The synthesis of the air pressure control algorithm in the tires taking into account parameters of the dynamic system suspension hull wheeled vehicles with a large cross

**H.A. Makogon, I.A. Cherepnev, A.P. Klimov, O.V. Kosarev,
A.P. Ponomarenko, A.A. Kumpan, Ye.M. Shpinda**

The subject matter of the article is the processes of changing the air pressure in the tires of the wheeled vehicle, depending on the microprofile of the road surface. The goal of the study is to analyze the main tire pressure control systems and their composition; choice of variants of the optimal law for changing the tire pressure in conditions of improvement of the parameters of the dynamic system suspension hull wheeled vehicles in real conditions.

The tasks to be solved are: to carry out an analysis of the characteristics of the use of a wheeled vehicle in various road conditions; to make an overview of the systems of air pressure control in tires and their development; to estimate the connection of the parameters of the dynamic system suspension hull wheeled vehicles and air pressure in the tires of the wheeled vehicle; to develop an algorithm for controlling the rate of pressure change in an automated control system.

The following results are obtained. The obtained analytical dependence of the amount of dynamic movement of a shock absorber on the speed of pressure change in the air system, which is the basis of the algorithm for adjusting air pressure in tires of a wheeled vehicle, allows taking maximum into account the speed of the suspension reaction to change the microprofile of the terrain.

The methodological basis of the research were general scientific and special methods of scientific knowledge. Namely, the theoretical principles of analytical mechanics – Lagrange's equations in generalized coordinates were used to describe the perturbed motion of suspension hull wheeled vehicles and creation of mathematical model; comparative analysis of existing systems control the air pressure in the tires and the analysis of their development was the basis for the synthesis of the control algorithm of the air pressure in the tires of the wheeled vehicles with a large cross.

Conclusions. Determination of the analytical dependencies of the parameters of the dynamic system suspension hull wheeled vehicles and air pressure in tires makes it possible to develop an effective algorithm for controlling the speed of change in pressure.

Developing an algorithm for changing the air pressure in tires in an automated control system will allow the driver and his passengers to travel more comfortably on the vehicle, regardless of the state of the roads or their absence; extends the tire run to breakdown, shortens compressor operating time under load; will reduce the power consumed by the engine on the actuator of the auxiliary equipment.

Keywords: *dynamic parameters of motion, level of oscillations of the suspension hull wheeled vehicles, tire pressure control system, optimal parameters of air pressure change in tires.*

Представлено від редакції: М.А. Подригало / Presented on editorial: M.A. Podrigalo

Рецензент: М.П. Артёмов / Reviewer: M.P. At'omov

Подано до редакції / Received: 03.09.2018