

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шилов Андрій Іванович



УДК 629.3.027.3 + 629.3.054.29

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСА КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНОЮ ПІДВІСКОЮ  
АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі та трактори

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2002







2. Повітря вважається ідеальним газом.

Припущення про нерозтяжність стінок пневмобалону дозволяє припустити, що геометричні характеристики пневматичного пружного елемента не залежать від температури і тиску повітря усередині балона. Це значно спрощує математичне моделювання, тому що об'єм і ефективна площа балона визначаються тільки в залежності від його деформації.

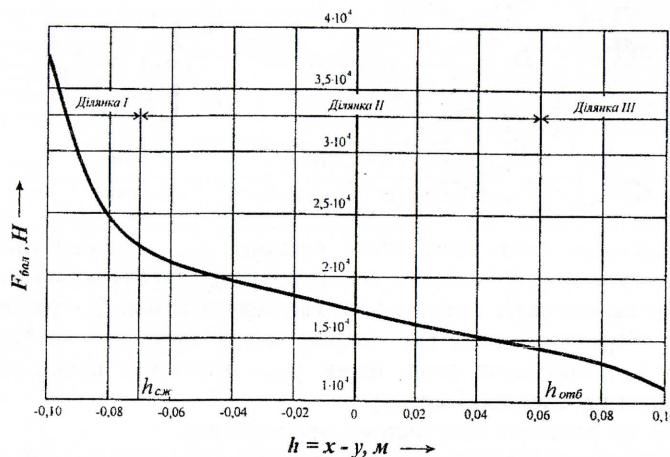


Рис. 4. Статична характеристика пневматичного пружного елемента  
Тиск повітря визначається з рівняння:

$$P = \frac{G \cdot R \cdot T}{V(h)}, \quad (3)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна для повітря, Дж/кг·К;  $G$  – маса повітря, кг;  $T$  – температура повітря всередині пневмобалону, К;  $V(h)$  – обсяг пневмобалону в залежності від деформації  $h$ , м<sup>3</sup>.

Залежності  $S(h)$  і  $V(h)$  виходячи з першого припущення є стабільними і легко визначаються зі статичної характеристики пневматичного пружного елемента.

Температура повітря визначається з першого закону термодинаміки в диференційній формі:

$$dq = du + dl, \quad (4)$$

де  $dq$  – елементарна кількість теплоти, яка підводиться до робочого тіла чи відводиться від нього, Дж;  $du$  – елементарна зміна внутрішньої енергії робочого тіла, Дж;  $dl$  – елементарна робота, виконана робочим тілом, Дж.

Для ідеального газу елементарна зміна внутрішньої енергії робочого тіла масою  $G$  визначається по наступній залежності:

$$du = C_v \cdot dT \cdot G, \quad (5)$$

де  $C_v$  – значення теплоємності повітря.

Елементарна робота, виконана робочим тілом, для ідеального газу визначається по залежності:

$$dl = P \cdot dV. \quad (6)$$

Кількість теплоти, що відводиться чи підводиться до робочого тіла в Дж:

$$dq = k_i \cdot \frac{S}{b} \cdot (T - T_{нап}) \cdot dt, \quad (7)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);  $S$  – площа поверхні пневмобалону, м<sup>2</sup>;  $b$  – товщина стінки пневмобалону, м;  $T_{нап}$  – температура навколошнього середовища, К.

З рівнянь (4...7) одержимо:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{k_i \cdot \frac{S}{b} \cdot (T - T_{нап}) - P \cdot \frac{dV}{dh} \cdot \frac{dh}{dt}}{G \cdot C_v}, \quad (8)$$

де  $\frac{dV}{dh}$  – похідна об'єму пневмобалона по деформації, м<sup>3</sup>/м.

Пружна характеристика шини (рис. 5) представлена кусочно-лінійною залежністю:

$$F_{ш} (y, q) = \begin{cases} 0 & \text{при } (y - q) > f_{ш_0}, \\ c_{ш} \cdot (f_{ш_0} - (y - q)) & \text{при } f_{ш_{max}} \leq (y - q) \leq f_{ш_0}, \\ c_{ш} \cdot (f_{ш_0} - f_{ш_{max}}) + c_{об} \cdot (f_{ш_{max}} - (y - q)) & \text{при } (y - q) < f_{ш_{max}}, \end{cases} \quad (9)$$

де  $f_{ш_0}$  – початкова деформація шини, м;  $q$  – висота нерівностей дороги, м;  $C_{ш}$  – твердість шини, Н/м;  $f_{ш_{max}}$  – мінімальна висота шини до упора в обід колеса, м;  $c_{об}$  – жорсткість обода колеса, Н/м.

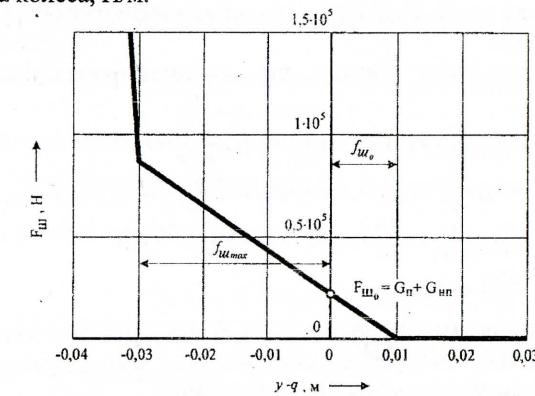


Рис. 5. Пружна характеристика шини

Подібне представлення пружної характеристики шин дозволяє враховувати відрив колеса від дороги.

Характеристику амортизатора приймемо лінійною, несиметричною. Тоді сила опору амортизатора визначається по залежності:



Передатні функції:

$$W(x) = \frac{X(S)}{q(S)} = \frac{X(S)}{q_0 \cdot \omega} \cdot (S^2 + \omega^2), \quad (20)$$

$$W(y) = \frac{Y(S)}{q(S)} = \frac{Y(S)}{q_0 \cdot \omega} \cdot (S^2 + \omega^2). \quad (21)$$

Отримане рішення дозволяє попередньо оцінювати такі параметри пневматичної підвіски як амплітуда коливань піддресореної і непіддресореної мас, швидкість і прискорення переміщення піддресореної і непіддресореної мас, а також проводити аналіз впливу параметрів пневматичної підвіски на вище зазначені величини.

Однак складність і незручність отриманих рішень, а також неможливість оцінити пробої підвіски та відриви колеса від дороги, роблять кращим використання математичних моделей, основаних на чисельних методах.

Рішення отриманих диференційних рівнянь дозволило побудувати амплітудно-частотні характеристики нерегульованої і регульованої підвісок.

У результаті аналізу параметрів коливань при русі АТЗ із регульованою і нерегульованою пневматичними підвісками можна зробити наступні висновки:

1. Регулятор рівня підлоги компенсує зниження динамічного нейтрального положення, обумовлене несиметричною характеристикою амортизаторів, і дозволяє значно зменшити динамічний хід підвіски. У зв'язку з цим повне відключення регулятора рівня підлоги при русі АТЗ небажано.
2. Швидкість, прискорення й амплітуда коливань піддресореної маси при русі з регульованою підвіскою мають трохи менші значення, ніж при русі з нерегульованою. Це пояснюється тим, що коливання відбуваються поблизу статичного нейтрального положення, де пневматичний пружний елемент має меншу жорсткість. Проте, при збільшенні площині прохідних перетинів регулятора рівня підлоги може спостерігатися збільшення імовірності відриву коліс від дороги в області резонансних частот, що обумовлено деяким підвищеннем при стиску і зниженням при відбої жорсткості пневматичного пружного елемента за рахунок витрати повітря регулятором.
3. Динамічне нейтральне положення піддресореної маси і висоти пневматичного пружного елемента в регульованій пневматичній підвісці залежить головним чином від співвідношення площині прохідних перетинів і гіdraulічних опорів регулятора рівня підлоги на впуску і на випуску.
4. Найбільш оптимальним алгоритмом регулювання пневматичною підвіскою при русі АТЗ є підтримка певної відстані до буфера стиску, яка визначається з умовою мінімальної імовірності пробою підвіски при даній частоті збуджуючого впливу і висоти нерівностей дороги. Реалізація даного алгоритму в механічних системах керування недоцільна через значну витрату повітря підвіскою при русі АТЗ. Даний алгоритм може бути реалізований в електронних системах керування і дозволить зробити підвіску більш чутливою до дорожніх нерівностей.
5. Для зниження витрати повітря регулятором необхідно прагнути до найбільш близького розташування динамічного і статичного нейтральних положень.

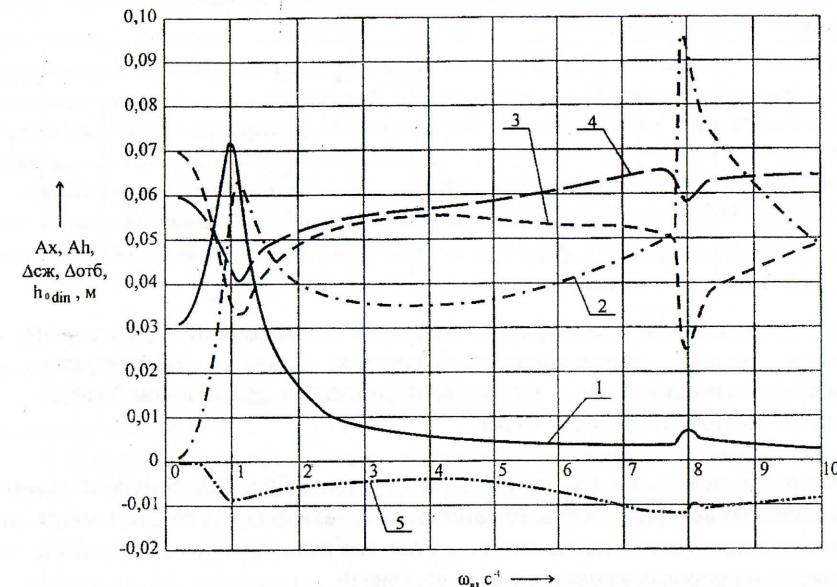


Рис. 6. Амплітудно-частотна характеристика регульованої пневматичної підвіски: 1 – амплітуда коливань піддресореної маси; 2 – амплітуда коливань висоти пневматичного пружного елемента; 3 – відстань до буфера стиску; 4 – відстань до буфера відбою; 5 – динамічне нейтральне положення висоти пневматичного пружного елемента

У третьому розділі викладається суть запропонованої методики визначення раціональної залежності площині прохідних перетинів РРП.

Оскільки РРП відслідковує коливання висоти пневматичного пружного елемента, то в якості вихідних даних для розрахунку площині прохідних перетинів регулятора необхідно прийняти залежність динамічного нейтрального положення від амплітуди коливань пневматичного пружного елемента. Ця залежність може бути визначена з двох умов:

1. Мінімальна імовірність пробою підвіски;
2. Мінімальна витрата повітря підвіскою.

Залежність динамічного нейтрального положення, визначена з умовою мінімальної імовірності пробою підвіски, зображена на рис. 7. При цьому динамічне нейтральне положення визначається по відстані до буфера стиску, що забезпечило б відсутність пробоїв при наїзді на одиничну нерівність, висота якої на 20-30 % перевищує середню висоту нерівностей. Слід зазначити, що в середньому інтервалі амплітуд динамічне нейтральне положення залежить від частоти впливу, що збуджує коливання. В області низьких частот (низькочастотний резонанс) динамічне

нейтральне положення повинно знаходитися нижче, ніж в області високих частот (високочастотний резонанс).

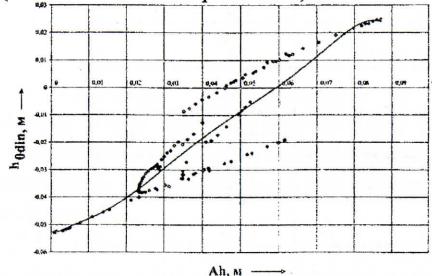


Рис. 7. Динамічне нейтральне положення пневматичного пружного елемента з умовою мінімальної імовірності ударів у буфер стиску

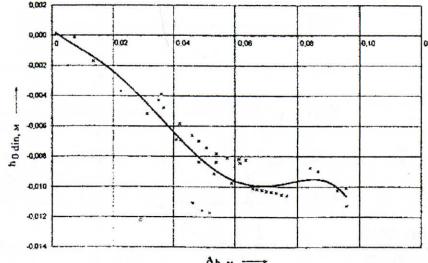


Рис. 8. Динамічне нейтральне положення, яке забезпечується пружного елемента з умовою двоступінчастим регулятором ХНАДУ

Регулятор при коливанні важеля з амплітудою  $A$  буде підтримувати заданий зсув динамічного нейтрального положення  $\Delta\alpha_{cm}$  за умови, що кількість повітря, яке випускається, при відхиленні на кут  $\alpha_{vyp}$  буде дорівнювати кількості повітря, яке впускається, при відхиленні важеля на кут  $\alpha_{vp}$  (рис 9).

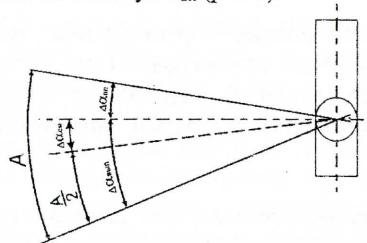


Рис. 9. Межі коливань важеля регулятора з амплітудою  $A$  і зсувом динамічної нейтралі  $\Delta\alpha_{cm}$

Визначення раціональної залежності площі прохідних перетинів РРП виконується в наступній послідовності:

1. Визначається зона нечутливості регулятора з умовою відсутності перекосів кузова АТЗ у положенні статичної рівноваги. Величина зони нечутливості не повинна перевищувати 70% середнього значення амплітуди коливань висоти пневматичного пружного елемента, що спостерігається в режимі руху, характерному для умов експлуатації АТЗ.

2. Будується діаграма сумарної витрати повітря регулятором з умовою збігу динамічного і статичного нейтральних положень. Сумарна витрата повітря при відхиленні важеля регулятора на кут  $\Delta\alpha$  являє собою інтеграл миттєвих витрат у діапазоні від нульового відхилення важеля до  $\Delta\alpha$ . Іншими словами, це кількість

повітря, що проходить через регулятор при відхиленні важеля на кут  $\Delta\alpha$ . Закон наростиання сумарної витрати залежить від конструкції регулятора (одноступінчастий, двоступінчастий, безступінчастий). За умови збігу динамічного і статичного нейтральних положень у всьому діапазоні амплітуд, діаграма сумарної витрати регулятора на впуску і на випуску збігається з законом наростиання сумарної витрати.

3. Побудова діаграми миттєвої витрати повітря регулятором. Якщо розбити криві впуску і випуску, на діаграмі сумарної витрати на елементарні ділянки  $d\alpha$ , то значення миттєвої витрати повітря при куті відхилення  $\alpha$  складає у кг/сек:

$$d(\alpha) = Q_2(\alpha) - Q_3(\alpha - d\alpha), \quad (22)$$

де  $Q_2(\alpha)$ ,  $Q_3(\alpha - d\alpha)$  – значення сумарної витрати повітря відповідно при куті відхилення важеля  $\alpha$  і  $(\alpha - d\alpha)$ .

4. Визначення залежності площи прохідних отворів регулятора від кута відхилення його важеля.

5. Побудова за рахунок зміни параметрів регулятора реальної залежності площ, що максимально наближається до залежності, отриманої в п.4.

6. Визначення реального зсуву динамічного нейтрального положення.

7. Якщо реальне динамічне нейтральне положення у всьому діапазоні амплітуд не збігається зі статичним, будеться бажана діаграма зсуву динамічного нейтрального положення щодо статичної в залежності від амплітуди коливань пневматичного пружного елемента. При цьому необхідно враховувати наступні рекомендації:

а) при незначних амплітудах коливань бажане зниження динамічного нейтрального положення, а при значних - підвищення, що дасть можливість направити неминучу витрату повітря на підвищення чутливості дороги підвіскою;

б) значення амплітуди  $A_0$ , після якого регулятор працює на «підвищення», визначається з урахуванням умов експлуатації АТЗ і не повинне перевищувати значення амплітуди в зоні високочастотного резонансу, при якому спостерігається пробій нерегульованої підвіски.

8. По отриманій у п.7 залежності будеться діаграма сумарної витрати повітря на впуску і на випуску.

9. Повторюються пункти 3-6 до одержання задовільного результату.

10. Змінюючи масштабний коефіцієнт на кривій сумарної витрати, добиваються необхідного часу вирівнювання кузова АТЗ при змінюванні маси АТЗ від спорядженої до повної. При цьому досягнутий закон зсуву динамічного нейтрального положення щодо статичного мінятися вже не буде. При виборі масштабного коефіцієнта треба враховувати, що чим менше час вирівнювання кузова, тим більше витрата повітря підвіскою при русі АТЗ.

Повний збіг динамічного і статичного нейтрального положень забезпечує безступінчастий регулятор (рис. 10). Конструкція 2-х ступінчастого РРП ХНАДУ

дозволила одержати залежність динамічного нейтрального положення, зображену на рис. 12.

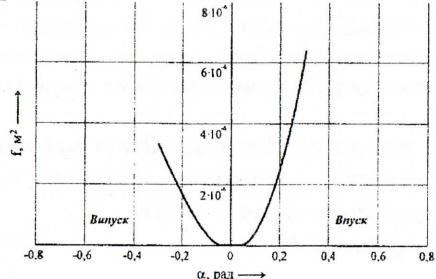


Рис. 10. Діаграма площини прохідних перетинів безступінчастого регулятора

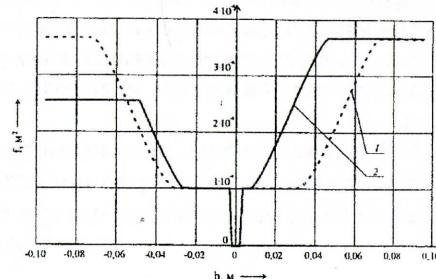


Рис. 11. Площа прохідних перетинів 2-х ступінчастого регулятора в залежності від висоти пневматичного пружного елемента:  
1 – серійний РРП, 2 – удосконалений

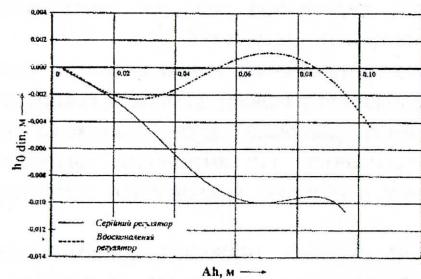


Рис. 12. Зсув динамічного нейтрального положення

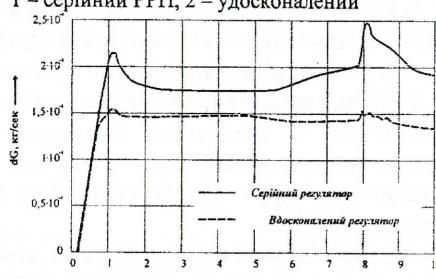


Рис. 13. Витрата повітря в залежності від частоти впливу, що збуджує коливання

Витрату повітря пневматичною підвіскою в результаті удосконалення регулятора рівня підлоги ХНАДУ по розрахункам за допомогою математичної моделі вдалося зменшити в середньому на 14% (рис. 13), в області низькочастотного і високочастотного резонансу відповідно на 28% і на 40 %.

**Четвертий розділ** присвячений експериментальному підтвердженню проведених теоретичних досліджень.

Були здійснені стендові іспити, основною метою яких було визначення гідравлічних опорів регуляторів, і дорожні іспити. Для проведення дорожніх іспитів була обрана бруківка із середньою довжиною нерівностей 150...200мм. При русі по такій дорозі зі швидкістю 15...20 км/год середнє значення збуджуючої частоти складає близько 1...1,5 с<sup>-1</sup>, що є близьким до значення частоти першого резонансного сплеску.

Типові осцилограми коливань пневматичних пружинних елементів задньої підвіски при русі автомобіля показані на рис. 15-16.

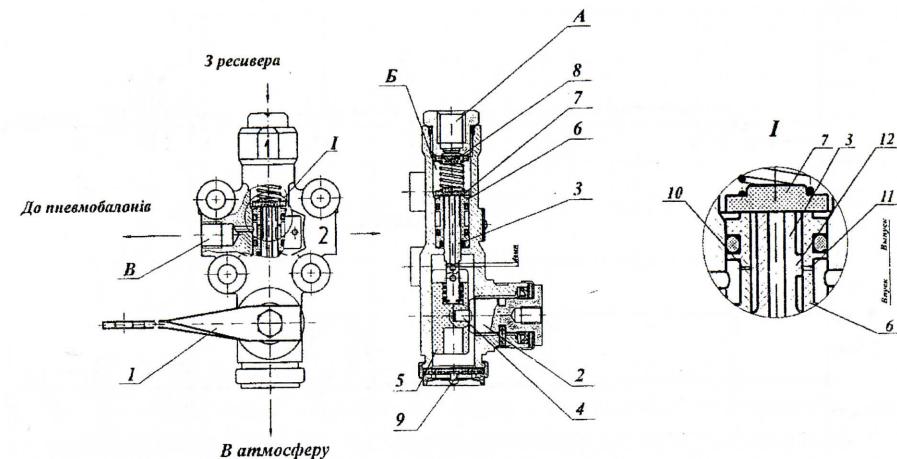


Рис. 14. Конструкція удосконалого РРП ХНАДУ: 1 – важіль, 2 – валик, 3 – плунжер, 4 – штифт, 5 – поршень, 6 – гільза, 7 і 8 – клапани, 9 – випускне вікно, 10 – отвір першого ступеня, 11 – отвори другого ступеня, 12 – насок на плунжері, що забезпечує 2-х ступінчасту роботу

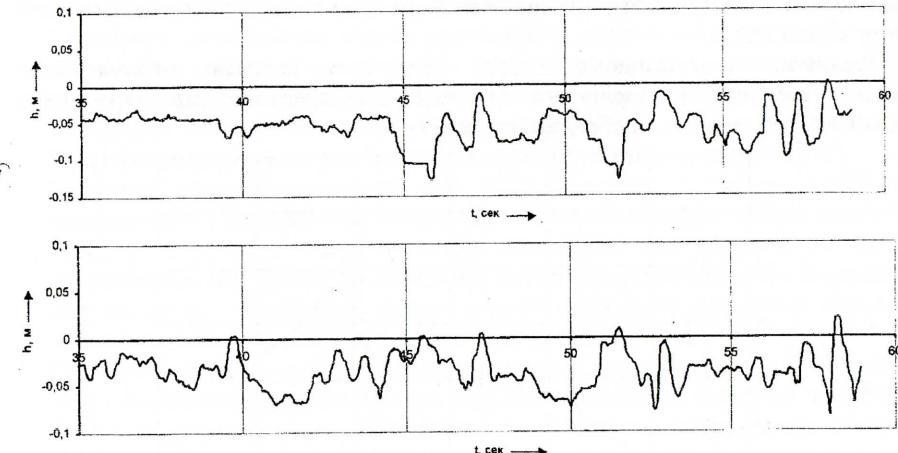


Рис. 15. Коливання пневматичного пружного елемента в підвісці з серійним РРП

Як видно з отриманих осцилограм, удосконалений регулятор забезпечує коливання пружного елемента поблизу статичного нейтрального положення, у той час як серійний регулятор сприяє більш низькому розташуванню динамічного нейтрального положення.

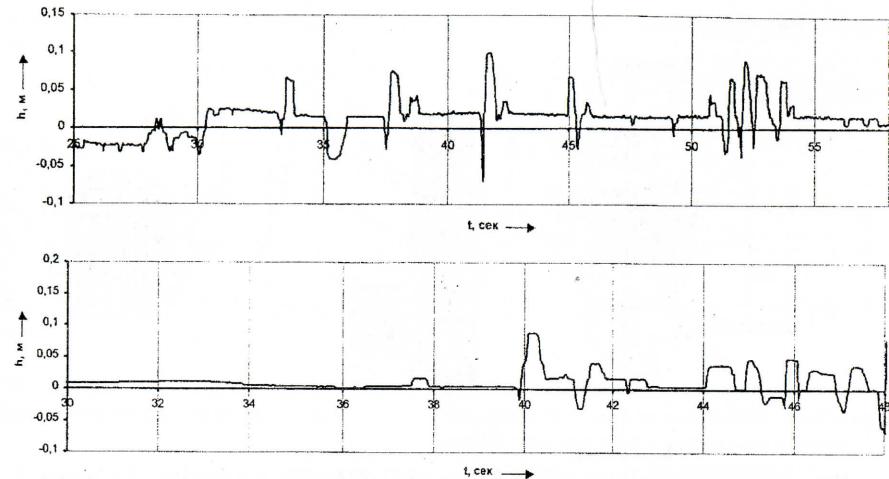


Рис. 16. Коливання пневматичного пружного елемента в підвісці з удосконаленим РРП

Оцилограми коливання висоти пневматичного пружного елемента були піддані кореляційному аналізу, на підставі якого було визначено середнє значення частоти збудження.

Результати статистичного аналізу осцилограм коливань пневматичного пружного елемента в порівнянні з амплітудно-частотною характеристикою, розрахованої теоретично, відображені на рис. 17-18.

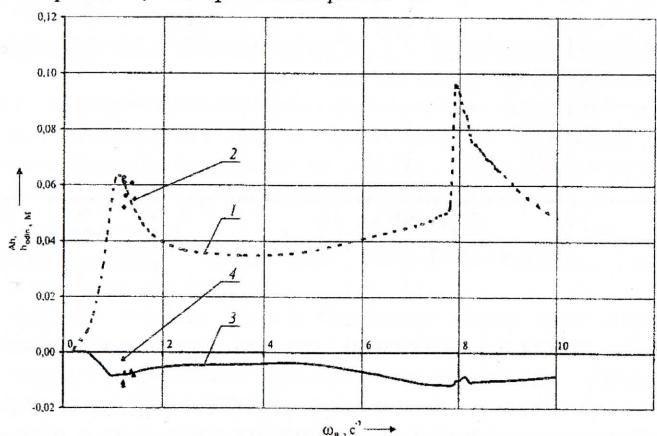


Рис. 17. Порівняння теоретичних даних і результатів експерименту для серійного регулятора: 1 – висота пневматичного пружного елемента; 2, 4 – результати експерименту; 3 – зсув динамічного нейтрального положення

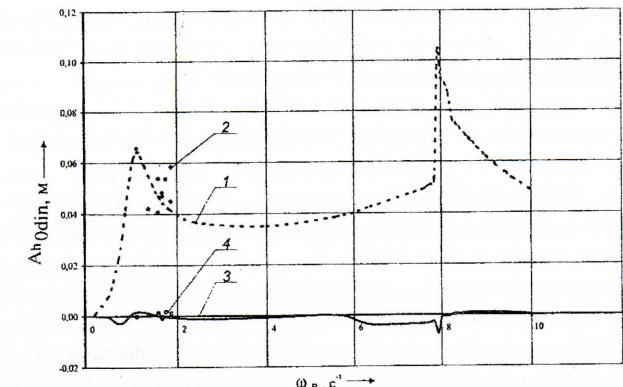


Рис. 18. Порівняння теоретичних даних і результатів експерименту для вдосконаленого регулятора: 1 – висота пневматичного пружного елемента; 2, 4 – результати експерименту; 3 – зсув динамічного нейтрального положення

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують адекватність їх теоретичним (погрішність складає 6-11 %).

## ВИСНОВКИ

1. Розроблена математична модель регульованої пневматичної підвіски дозволяє враховувати відвід тепла через стінки пневматичних пружних елементів, відрив колеса від дороги і пробой підвіски. Урахування відводу тепла підвішує точність визначення середнього нейтрального динамічного положення кузова на 5%. Погрішність розрахунку порівняння з величиною зони нечутливості РРП.
2. Регулятор рівня підлоги при русі АТЗ компенсує зниження динамічного нейтрального положення, обумовлене несиметричною характеристикою амортизаторів, і дозволяє зменшити динамічний хід підвіски на 20-30%. Залежність площин прохідних перетинів регулятора рівня підлоги і гідравлічний опір впускних і випускних каналів суттєво впливає на динамічне нейтральне положення і витрату повітря підвіскою при русі АТЗ.
3. При застосуванні механічних систем критерієм керування необхідно вибирати умову мінімальної витрати повітря. Для цього необхідно прагнути до найбільш близького розташування динамічного і статичного нейтральних положень підпресореної маси щодо неідпресореної. При застосуванні електронних систем критерієм керування необхідно вибирати умову мінімальної імовірності пробою підвіски, що виражається в підтримці визначеної відстані до буфера стиску при русі автомобіля. Величина цієї відстані визначається в залежності від умов руху. Виконання цих критеріїв дозволяє зменшити динамічний хід підвіски на 10-15%.
4. Запропонована методика визначення залежності площин прохідних перетинів дозволяє на стадії проектування оцінити вплив РРП на параметри коливань підпресореної маси і визначити раціональну площину прохідних перетинів у залежності від кута відхилення його важеля. Застосування розробленої

- математичної моделі і методики при проектуванні пневматичної підвіски дозволяє більш точно визначити необхідний динамічний хід підвіски, що сприяє зниженню рівня підлоги кузова приблизно на 5-10 %.
5. Проведені дослідження дозволили розробити конструкцію регулятора рівня підлоги, що впроваджений у серійне виробництво на Вовчанському агрегатному заводі.
  6. Розроблені і запропоновані конструктивні заходи дозволяють підвищити плавність ходу і знизити витрату повітря підвіскою автобуса "Харків'янин"-52591 при русі в середньому на 14 %.
  7. Проведені експериментальні дослідження підтверджують справедливість розробленої математичної моделі і методики. Погрішність розрахунків відхилення середнього динамічного нейтрального положення в зоні першого резонансного сплеску амплітудно-частотної характеристики 6...11%, погрішність розрахунків амплітуди коливань висоти пневматичного пружного елемента 6...11%.

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ

1. Туренко А. М., Клименко В.І., Богомолов В.О., Шилов А.І. Новий регулятор рівня підлоги ХДАДТУ // Ергономіка на автомобільному транспорті. – Харків, 1999. – С. 58-61. (Зробив опис конструкції розробленого РРП).
2. Туренко А. М., Клименко В.І., Богомолов В.О., Шилов А.І. Математична модель пневматичної підвіски транспортних засобів. // Вісник Тернопільського ДТУ. – Тернопіль: ТДТУ. – Т. 5, № 4, 2000. – С. 124-127. (Розробив математичну модель пневматичної підвіски).
3. Туренко А. М., Клименко В.І., Богомолов В.О., Шилов А.І. Вплив регулятора рівня підлоги на експлуатаційні властивості пневматичної підвіски. // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХГПУ. – № 82, 2000. – С. 42-43. (Проаналізував вплив РРП на коливання пневматичної підвіски).
4. Туренко А. М., Клименко В.І., Богомолов В.О., Кирчатий В.І., Шилов А.І. Підвищення плавності ходу в регульованих підвісках за рахунок зміни положення динамічної нейтрали. // Автомобільний транспорт. Збірник наукових праць. – Харків: ХНАДУ. – № 7-8, 2001. – С. 58-62. (Розробив методику розрахунку раціональної площині прохідних перетинів РРП).
5. Шилов А.І. Результати експериментальних досліджень регулятора рівня підлоги. // Автомобільний транспорт. Збірник наукових праць. – Харків: ХНАДУ. – 2002. (Привів ходові дослідження розробленої конструкції РРП).

#### АННОТАЦІЯ

**Шилов А.І.** Вдосконалення процесу керування пневматичною підвіскою автотранспортних засобів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі і трактори. - Харківський національний

автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2002.

Дисертація присвячена питанню вдосконалення процесу керування пневматичною підвіскою. Запропоновано уточнену математичну модель пневматичної підвіски, що вирішена чисельними методами з застосуванням ЕОМ. Модель дозволяє враховувати теплообмін стиснутого повітря з навколошнім середовищем через стінки пружного елемента, відрив колеса від дороги й удари в буфер стиску і відбою. У результаті аналізу коливань підресореної і непідресореної мас за допомогою розробленої моделі визначені основні критерії керування підвіскою. У випадку механічної системи керування запропонована методика визначення раціональної площині прохідних перетинів регулятора рівня підлоги в залежності від кута повороту його важеля. Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність результатів, отриманих при математичному моделюванні.

**Ключові слова:** пневматична підвіска, система керування, математична модель, регулятор рівня підлоги, площа прохідних перетинів, динамічне нейтральне положення.

#### SUMMARY

**Shilov A.** Perfecting of control procedure the pneumatic suspension of vehicles. - Manuscript.

Thesis for the competition for a scientific degree of the candidate of technical science (speciality 05.22.02) - Automobiles and tractors. - Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, 2002.

The thesis is dedicated to a problem of perfecting of control procedure the pneumatic suspension. The updated mathematical model of the pneumatic suspension is offered, which one is resolved by the numerical methods with application of a computer. The model allows to keep thermoexchange of compressed air with environment through walls of an elastic bellow, separation of a wheels from a road and strokes in a buffer of compression. As a result of the analysis of oscillations with the help of designed model the basic algorithm of control of the suspension are determined. In case of a mechanical system of control the technique of definition of the rational area of flow areas of a level regulator is offered. The conducted experimental researches have confirmed adequacy of outcomes obtained at mathematical modelling.

**Keywords:** pneumatic suspension, operation system, mathematical model, level regulator, area of bulkhead foramens, dinamic neutral position.

#### АННОТАЦІЯ

**Шилов А.І.** Совершенствование процесса управления пневматической подвеской автотранспортных средств. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 – Автомобили и тракторы. - Харьковский национальный

автомобильно-дорожный университет Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена вопросу совершенствования процесса управления пневматической подвеской. Цель работы – снизить потребление воздуха подвеской при движении автомобиля и уменьшить динамический ход подвески. Для этого была предложена уточненная математическая модель пневматической подвески, которая решена численными методами с применением ЭВМ. В данной модели учтен теплообмен сжатого воздуха с окружающей средой через стенки упругого элемента, отрыв колеса от дороги и удары в буфер сжатия и отбоя. С помощью разработанной модели был проведен анализ регулируемой и нерегулируемой пневматических подвесок, который показал, что регулятор уровня пола компенсирует снижение динамического нейтрального положения, обусловленное несимметричной характеристикой амортизаторов, и позволяет значительно уменьшить динамический ход подвески. В связи с этим полное отключение регулятора уровня пола при движении АТС недопустимо. Скорость, ускорение и амплитуда колебаний подпрессоренной массы при движении с регулируемой подвеской имеют несколько меньшие значения, чем при движении с нерегулируемой. Тем не менее, при увеличении площади проходных сечений регулятора уровня пола может наблюдаться увеличение вероятности отрыва колес от дороги в области резонансных частот, что обусловлено некоторым повышением при сжатии и снижением при отбое жесткости пневматического упругого элемента за счет расхода воздуха регулятором уровня пола.

В результате анализа колебаний подпрессоренной и неподпрессоренной масс с помощью разработанной модели были определены основные критерии управления подвеской. При применении механических систем управления в качестве критерия управления необходимо выбирать условие минимального расхода воздуха. Для этого необходимо стремиться к наиболее близкому расположению динамического и статического нейтральных положений подпрессоренной массы относительно неподпрессоренной. При применении электронных систем управления в качестве критерия управления необходимо выбирать условие минимальной вероятности пробоя подвески, которое выражается в поддержании определенного расстояния до буфера сжатия при движении автомобиля. Величина этого расстояния определяется в зависимости от условий движения.

Впервые была предложена методика определения рациональной площади проходных сечений регулятора уровня пола. Разработанная методика позволяет на стадии проектирования оценить влияние РУП на параметры колебаний подпрессоренной массы.

Разработана конструкция регулятора уровня пола, которая внедрена в серийное производство на Волчанском агрегатном заводе. Разработанные и предложенные конструктивные мероприятия позволяют повысить плавность хода и снизить расход воздуха подвеской при движении автомобиля в среднем на 14 %. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили адекватность результатов полученных при математическом моделировании.

**Ключевые слова:** пневматическая подвеска, система управления, математическая модель, регулятор уровня пола, площадь проходных отверстий, динамическое нейтральное положение.



Підписано до друку 16.09.02.

Зам.№ 477/2432

Формат 60x90 1/16  
Уч.друк. арк. 0,9  
Тираж 100 прим.

Папір офсетний  
Обл.вид.арк. 0,84  
Ціна договірна

Видавництво Харківського національного автомобільно-дорожнього університету  
ХНАДУ, 61002, Харків-02, вул. Петровського, 25

Свідоцтво державного комітету інформаційної політики, телебачення та  
радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до державного  
реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції,  
серія № ДК №897 від 17.04.2002 р.