

В. В. ДУЩЕНКО, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;
О. М. АГАПОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;
Ю. В. ГОРБЕНКО, студент НТУ «ХПІ»

ВИБІР КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ТА ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ГІДРОПНЕВМАТИЧНОЇ ПІДВІСКИ КОЛІСНИХ БРОНЕТРАНСПОРТЕРІВ

Проведено аналіз та вибрано кінематичну схему гідропневматичної підвіски колісних бронетранспортерів, що задовільняє сформульованим вимогам. Проведено попередній розрахунок одноступінчастої пневмогідрравлічної ресори, вибрано заправний тиск і об'єм пневмокамери та побудовано пружну характеристику підвіски для двох крайніх значень показника політропи. Одержано початковий вектор проектних параметрів для проведення подальшої параметричної оптимізації.

Ключові слова: колісний бронетранспортер, гідропневматична підвіска, кінематична схема, пружна характеристика.

Вступ. Є відомими наступні два класичні напрямки підвищення плавності ходу військових гусеничних і колісних машин. Це збільшення динамічного ходу підвіски, що підвищує її енергоємність, та збільшення роботи демпфіруючих пристроїв (амортизаторів). Для повнопривідних колісних машин подальше збільшення динамічного ходу зустрічає певні труднощі. Вони обумовлені необхідністю підведення до колеса крутного моменту, тобто наявністю коротких карданних валів з обмеженими кутами роботи, а також вимогами по забезпеченню певного положення коліс відносно профілю дороги з метою отримання необхідної керованості і стійкості руху машини та зменшення зносу шин. Ці два чинники важко поєднуються з реальною величиною необхідного динамічного ходу підвіски та її енергоємності. Одним з можливих шляхів подолання даного протиріччя є застосування гідропневматичної підвіски (ГПП) з нелінійною пружною характеристикою. Однак у цьому випадку виникає проблема вибору кінематичної схеми підвіски та компоновки її вузлів у ходовій частині.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] представлено розрахункові та експериментальні дослідження параметрів плавності ходу та динамічної навантаженості вузлів ходової частини бронетранспортера БТР-70М, які показали їх невідповідність сучасним вимогам. Аналогічну підвіску мають і наступні машини, що створені за останній час в Україні та Росії. В роботі [2] представлено результати оптимізації пружної характеристики з ділянкою «нульовою» жорсткості пневмогідрравлічної ресори (ПГР), що була розроблена для підвіски українських бронетранспортерів БТР-3 та «Дозор». Вони

показали суттєвий позитивний вплив нелінійної характеристики ПГР, особливо на дорезонансному та зарезонансному режимах руху. В роботі [3] представлено різноманітні кінематичні схеми підвісок, що використовуються на автомобілях, приклади їх застосування, переваги та недоліки.

Мета досліджень – на прикладі бронетранспортера БТР-4 провести аналіз та вибрати кінематичну схему підвіски, яка дозволить застосувати одноступінчасту ПГР, що буде задовольняти висунутим вимогам, та провести її попередній розрахунок з метою отримання початкового вектора проектних параметрів для проведення подальшої параметричної оптимізації.

Колісні бронетранспортери виробництва України (БТР-3, БТР-4, Дозор та їх модифікації) мають незалежну торсіонну підвіску коліс на двох поперечних важелях, з телескопічними гідроамортизаторами (ГА), яка використовувалася на бронетранспортерах БТР-60...БТР-80 радянського виробництва. Дана підвіска зображена на рис. 1.

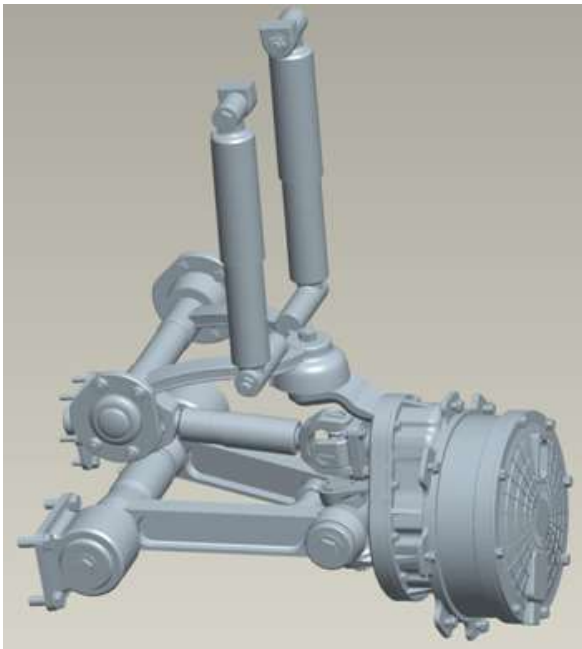


Рис. 1 – Кінематична схема торсіонної підвіски бронетранспортерів БТР-60...БТР-80

Нижній важіль пов'язаний з торсіоном, розташованим поздовж борту машини, верхній важіль пов'язаний з телескопічними ГА (встановлюється по два ГА на крайніх підвісках та по одному на внутрішніх). Хід підвіски обмежується буферами стиску та відбою, що взаємодіють з верхнім важелем. Таким чином, навантаженість напрямних пристроїв та їх гумових шарнірів розподілено: нижній важіль сприймає зусилля пружного елемента – торсіону, а верхній важіль сприймає зусилля опору ГА та згаданих вище буферів.

Недоліками даної підвіски є її недостатні динамічний хід, лінійна пружна характеристика та недостатня енергоємність ГА, що призводять до незадовільної плавності ходу та зниженню середніх швидкостей руху [1]. Це зводить нанівець зусилля по модернізації силової установки та трансмісії і не дозволяє використовувати їх можливості, що зросли, при пересуванні по ґрунтових дорогах та пересіченій місцевості з високими швидкостями.

При розробці нової кінематичної схеми були враховані наступні обмеження та вимоги:

- необхідність максимальної уніфікації деталей підвіски з попереднім варіантом торсіонної підвіски;
- неможливість зміни форми корпусу машини в місцях розташування підвіски та зміни карданного приводу коліс;
- забезпечення симетричного рівномірного навантаження важелів та гумових шарнірів підвіски з врахуванням того, що частина коліс є керованими;
- можливість виконання ремонту у польових умовах без демонтажу інших вузлів підвіски, трансмісії та ін., що розташовані зовні або всередині корпусу машини;
- збереження існуючого, а при можливості і збільшення величини повного ходу підвіски.

Для усунення, згаданих вище, недоліків та підвищення загальних тактико-технічних характеристик машин, що розглядаються, було запропоновано застосувати одноступінчасту телескопічну ППР з сферичною пневмокамерою та мембранним роздільником. Телескопічна конструкція дозволить поєднати в одному вузлі пружний елемент та демпфіруючий пристрій, що забезпечить його компактність і невелику вагу. У свою чергу, сферична пневмокамера може бути розташована збоку, під необхідним кутом, що забезпечить відсутність її контакту з іншими вузлами підвіски при реалізації повного ходу стиску та відбою. Мембранний роздільник забезпечить відсутність застійної зони на пружній характеристиці, що дозволить знизити приведену жорсткість підвіски в районі статичного ходу та позитивно позначиться на плавності ходу.

Після проведення відповідного аналізу можливих схем компоновки даної ППР у ходовій частині, з врахуванням висунутих обмежень та вимог,

було відхилено варіанти направляючої стойки та підвіски на поздовжніх важелях і залишено кінематичну схему на двох поперечних важелях. Враховуючи, що пружний елемент та демпфіруючий пристрій поєднані в один вузол, його нижню опору поєднали з нижнім важелем підвіски, який може витримати великі навантаження. Для забезпечення підведення крутного моменту до колеса, нижня опора була виконана у вигляді важеля з вилкою, через яку пропущено карданний вал приводу коліс. Верхній важіль залишається навантаженим зусиллями від буферів стиску та відбою. Запропонована кінематична схема показана на рис. 2.

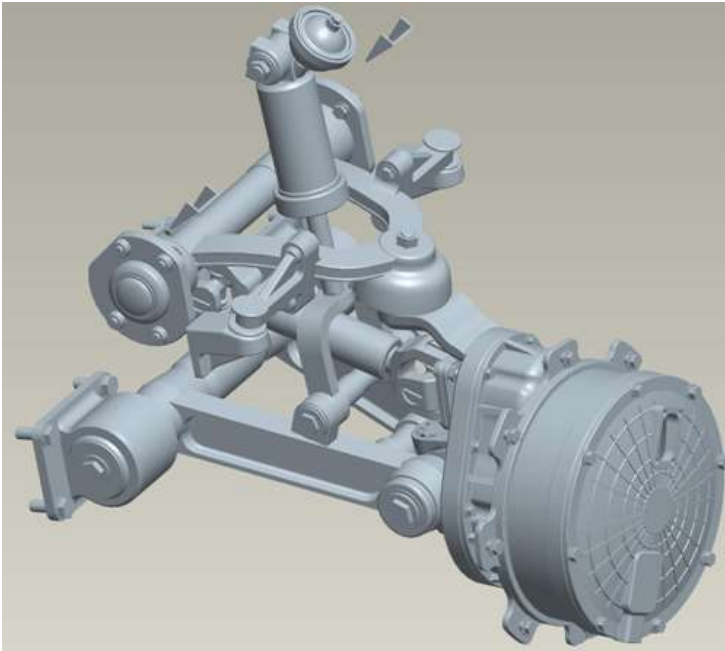


Рис. 2 – Кінематична схема запропонованої підвіски з пневмогідралічною ресорою

Міра досконалості та якості підвіски військових машин визначається оптимальним поєднанням її енергоємності, жорсткості, демпфування, величинами динамічного та статичного ходів підвіски, а також характером їх взаємозалежності один від одного. Це поєднання дозволяє забезпечити машині високі тактико-технічні характеристики і є предметом науково-дослідницьких та дослідно-конструкторських робіт.

Проведемо попередній розрахунок характеристик підвіски з одноступінчастою ПГР для БТР-4.

1. Визначимо межі, в яких може перебувати приведена жорсткість підвіски C_{II} в статичному положенні за умови, що власні частоти поздовжньо-кутових та вертикальних коливань підресореного корпусу $n_{z\varphi}$ не вийдуть за допустимі межі $0,8 \div 2,0 Гц$.

$$\omega_{z\varphi} = 2\pi \cdot n_{z\varphi} = 5,024 \dots 12,56 c^{-1}.$$

Для вертикальних коливань:
$$C_{II} = \frac{\omega_z^2 \cdot m_n}{2 \cdot N_K}.$$

Для поздовжньо-кутових коливань:
$$C_{II} = \frac{\omega_\varphi^2 \cdot I_y}{2 \cdot \sum_{i=1}^{N_K} I_{Ni}^2},$$

де m_n – підресорена маса машини, N_K – кількість підвісок одного борту, I_y – момент інерції підресореного корпусу машини відносно поперечної вісі, що проходить через ц.м., I_{Ni} – відстань по горизонталі між ц.м. та віссю i -ї підвіски.

Тоді діапазон можливої приведеної жорсткості підвіски буде:

$$85,9 \text{ кН/м} \leq C_{II} < 370,7 \text{ кН/м}.$$

У межах отриманого діапазону, для подальших розрахунків оберемо значення $C_{II} = 110,0 \text{ кН/м}$. Даний вибір обумовлено тим, що одноступінчаста ПГР має нелінійну пружну характеристику, яка забезпечить підвищену енергоємність підвіски в кінці динамічного ходу. Тому в статичному положенні, для забезпечення кращої плавності ходу та зниження роботи демпфіруючих пристроїв, підвіску можна зробити більш «м'якою».

2. Проведемо розрахунок кінематики підвіски (див. рис. 3).

Статичний хід підвіски будемо вважати рівним $h_{cm} = 0,09 \text{ м}$. Визначимо величину переміщення поршня гідروциліндра ПГР відповідно ходу підвіски, для чого визначимо наступні величини:

$$O_1O = \sqrt{L_{II}^2 + H_{II}^2} = 0,5507 \text{ м}; \quad CO = \sqrt{L_p^2 + H_p^2} = 0,2404 \text{ м},$$

де: CO – відстань між віссю кріплення нижнього важеля підвіски та нижньою віссю кріплення ПГР (L_p, H_p – відповідно, горизонтальна та вертикальна відстань між віссю кріплення важеля та нижньою віссю кріплення ПГР).

$$\angle COB = \arcsin \frac{L_p}{CO} = 16,927^\circ.$$

Задаючи послідовно значення кута β від вивішеного положення підвіски до положення, що відповідає повному ходу, розрахуємо значення $\angle O_1OC$ та хід поршня X_{II} :

$$\angle O_1OC = \angle \beta \pm \angle COB + \arcsin \frac{H_{II}}{CO};$$

$$O_1C = \sqrt{OO_1^2 + OC^2 - 2 \cdot OO_1 \cdot OC \cdot \cos(\angle O_1OC)}.$$

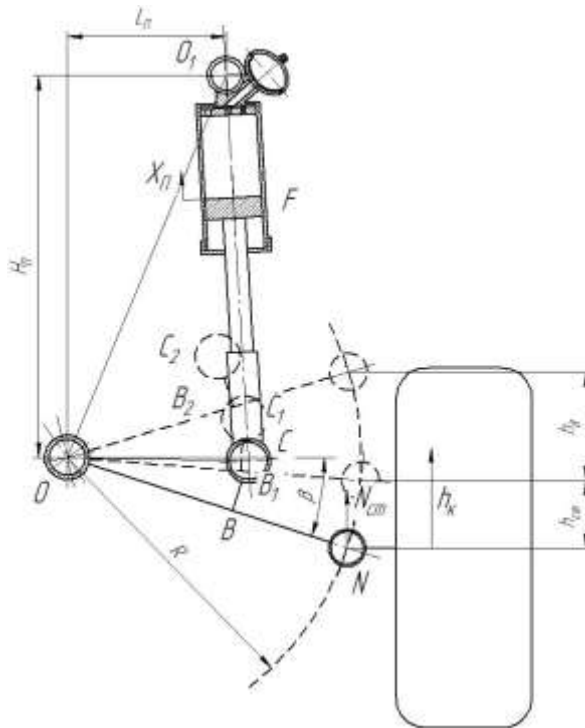


Рис. 3 – Кінематична схема підвіски

Графік залежності ходу поршня від ходу підвіски показаний на рис. 4.

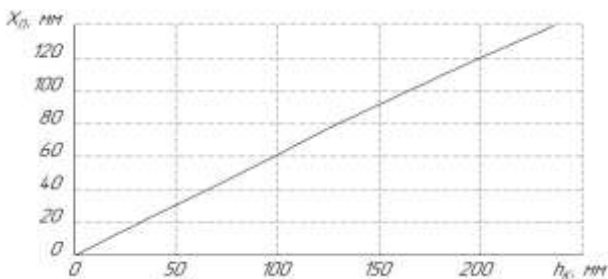


Рис. 4 – Залежність ходу поршня ПГР від ходу підвіски

3. Визначимо кінематичне i_k та силове i_c передаточні відношення підвіски та побудуємо графіки їх залежності від ходу підвіски (див. рис. 5).

$$i_k = \frac{h_k}{X_{II}} ; \quad i_c = \frac{R \cdot \cos(\angle\beta)}{OC \cdot \sin(\angle O_1OC)}$$

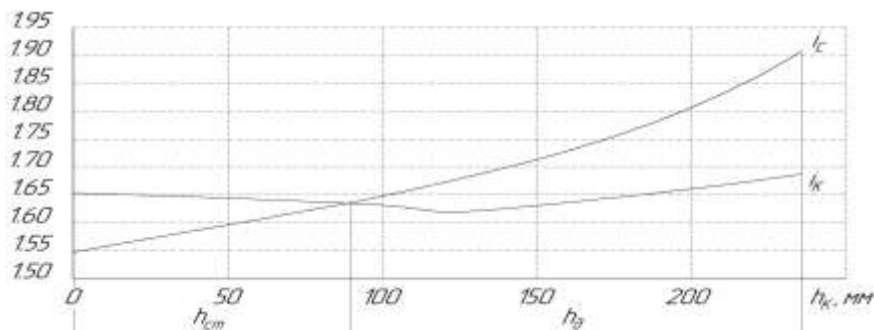


Рис. 5 – Кінематичне та силове передаточні відношення підвіски

4. Розрахунок пружної характеристики ПГР.

Визначимо площу F та діаметр D_{II} поршня гідроциліндра, виходячи з заданого коефіцієнта динамічності підвіски $K_d = 4$ та допустимого тиску в пневмокамері $[p_{\max}] = 35 \text{ МПа}$.

Навантаження підвіски в статичному положенні:

$$N_{cm} = \frac{m_n}{2 \cdot N_K} = 23,05 \text{ кН}$$

Максимальне навантаження на колесах: $N_{\max} = N_{cm} \cdot K_d = 92,21 \text{ кН}$.

Максимальне навантаження на штоці ПГР:

$$T_{\max} = N_{\max} \cdot i_{C_{\max}} = 175,97 \text{ кН}.$$

Площа поршня: $F = \frac{T_{\max}}{[P_{\max}]} = 0,005 \text{ м}^2.$

Тоді діаметр поршня: $D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = 0,08 \text{ м}.$

Для визначення заправних об'єму пневмокамери V_0 та тиску у ній P_0 скористаємося рівнянням політропної зміни стану газу $P \cdot V^n = \text{const}$, яке справедливо для незмінної кількості газу.

При повільному процесі стискування-розширення газу відбувається практично повний теплообмін з навколишнім середовищем. В результаті температуру газу можна вважати постійною, а процес ізотермічним. В цьому випадку показник політропи $n = 1$. При дуже швидкому процесі стискування-розширення газу теплообмін практично відсутній. При цьому процес є адіабатичним, а показник політропи $n = 1,4$.

Визначимо тиск P_{cm} та об'єм V_{cm} в пневмокамері в статичному положенні:

$$P_{cm} = \frac{N_{cm} \cdot i_{C_{cm}}}{F} = 7,502 \text{ МПа}.$$

Для визначення об'єму газу в пневмокамері в статичному положенні запишемо рівняння у прирощеннях для заданої приведеної жорсткості підвіски в районі статичного ходу:

$$\Delta N = C_{II} \cdot \Delta h = 110 \cdot 0,01 = 1,1 \text{ кН}.$$

Запишемо для даного випадку закон політропної зміни стану газу, прийнявши $n = 1,0$:

$$P_{cm} \cdot V_{cm} = P^* \cdot V^*; \quad P^* = \left(\frac{N_{cm} + \Delta N}{F} \right) \cdot i_{C_{cm}} = 7,86 \text{ МПа};$$

$$V^* = V_{cm} - \Delta V^*; \quad \Delta V^* = \left(\frac{\Delta h}{i_{K_{cm}}} \right) \cdot F = 30,749 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Тоді: $V_{cm} = \frac{P^* \cdot \Delta V^*}{P^* - P_{cm}} = 675,189 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$

З іншого боку :

$$V_{cm} = V_{01} - \Delta V; \quad \Delta V = F \cdot X_{II_{cm}} = 275,551 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

Тоді: $V_0 = V_{cm} + \Delta V = 950,741 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $P_0 = \frac{P_{cm} \cdot V_{cm}}{V_{01}} = 5,328 \text{ МПа}$.

Таким чином, розраховано основні кінематичні параметри підвіски з ПГР, можливі межі зміни її жорсткості у статичному стані та заправні тиск і об'єм пневмокамери, що складають початковий вектор проектних параметрів при проведенні подальшої параметричної оптимізації.

Побудуємо пружну характеристику підвіски (див. рис. 6), яка представляє собою залежність вертикального навантаження на колесі від вертикального ходу колеса, для двох показників політропи $n = 1,0$ та $n = 1,4$. Основними розрахунковими виразами є:

$$X_{II} = \frac{h_K}{i_K}; \quad P = P_{01} \cdot \left(\frac{V_{01}}{V_{01} - X_{II} \cdot F} \right)^n; \quad N = \frac{P \cdot F}{i_C}.$$

Передаточні відношення i_C та i_K беруться з наведеного вище графіка, в залежності від ходу підвіски.

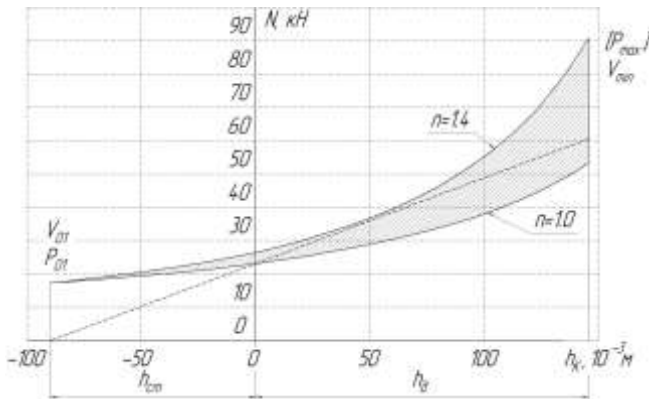


Рис. 6 – Пружна характеристика гідропневматичної підвіски

Як витікає з рис. 6, пружна характеристика гідропневматичної підвіски представляє собою область, обмежену двома кривими, яка відображає нестабільність характеристики, в залежності від швидкості переміщення колеса по вертикалі в процесі руху машини по нерівностях. У той же час, енергоємність даної ГПП у порівнянні з торсіонною підвіскою (її пружна характеристика показана пунктирною лінією) в середньому є вищою,

незважаючи на те, що ГПП має значно меншу приведену жорсткість в статичному положенні (110 кН/м проти 261 кН/м). Після проведення параметричної оптимізації, енергоємність ГПП, у порівнянні з торсіонною підвіскою, може вирости у півтора рази при тому самому динамічному ході.

Висновки. 1. На прикладі бронетранспортера БТР-4, відповідно до висунутих вимог, проведено аналіз та вибрано кінематичну схему підвіски, що дозволяє застосувати одноступінчасту ПГР, підвищити енергоємність підвіски та збільшити її повний хід на 4.5% (з 0,22 мм до 0,23 мм).

2. Проведено розрахунок обраної кінематичної схеми та кінематичного і силового передаточних відношень підвіски.

3. Проведено розрахунок заправних тиску та об'єму пневмокамери ПГР та побудовано пружну характеристику підвіски.

4. Отримано початковий вектор проектних параметрів ПГР для проведення її подальшої параметричної оптимізації.

Список літератури: 1. Математическое моделирование процессов возмущенного движения агрегатов и систем бронетанковой техники / [Александров Е. Е., Волонцевич Д. О., Дуценко В. В. и др.] – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 354 с. 2. Якименко И. И., Исследование и оптимизация упругой характеристики пневмогидравлической рессоры колесной машины с участком “нулевой” жесткости / Якименко И. И. // Механіка та машинобудування. –2006. – №1. – С. 25–29. 3. Раймтель Й. Шасси автомобиля. Конструкции подвесок / Раймтель Й.; [пер. с нем. В.П. Агапова]. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

Надійшла до редколегії 24.04.2013

УДК 629.1.032

Вибір кінематичної схеми та попередній розрахунок гідропневматичної підвіски колісних бронетранспортерів / В. В. Дуценко, О. М. Агапов, Ю. В. Горбенко // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПИ», 2013. – № 32 (1005). – С. 96–105. – Бібліогр.: 3 назв.

Проведен анализ и выбрана кинематическая схема гидропневматической подвески колесных бронетранспортеров, которая удовлетворяет сформулированным требованиям. Проведен предварительный расчет одноступенчатой пневмогидравлической рессоры, выбраны заправочные давление и объем пневмокамеры и построена упругая характеристика подвески для двух крайних значений показателя политропы. Получен исходный вектор проектных параметров для проведения дальнейшей параметрической оптимизации.

Ключевые слова: колесный бронетранспортер, гидропневматическая подвеска, кинематическая схема, упругая характеристика.

The analysis is carried out and the kinematic scheme of a hydropneumatic suspender of wheel armoured carriers which meets the formulated demands is chosen. Predesign of a single-stage pneumohydraulic spring is conducted, priming pressure and volume of the pneumonic cell are chosen and the elastic performance of a suspender for two extreme values of a polytropic exponent is built. The initial vector of design parameters for conducting of the further parametre optimisation is gained.

Keywords: a wheel armoured carrier, a hydropneumatic suspender, the kinematic scheme, elastic performance.