

## СТЕНДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

Олег Ляшук, д. т. н., Іван Гевко, д. т. н., Віктор Гудь, д. т. н., Роман Хорошун, к. е. н.,  
Богдан Гевко, к. т. н., Анатолій Матвійшин, Марія Сіправська

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна,  
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Тернопільська обл., Україна,  
e-mail: kaf\_am@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.127>

### **Ляшук О., Гевко І., Гудь В., Хорошун Р., Гевко Б., Матвійшин А., Сіправська М. Стенди для дослідження підвіски автомобіля**

У статті наведено опис розробленого та виготовленого обладнання (стенда з привідним барабаном) для проведення досліджень підвіски автомобіля при статичному та динамічному навантаженнях. Зокрема, у праці проаналізовано конструктивні схеми та принципи роботи стендів зі стрічкою та з поворотним столом для дослідження характеристик підвіски автомобіля, на які отримано патенти на винаходи на корисні моделі України. На їх основі було розроблено конструктивну схему та виготовлено стенд з привідним барабаном для дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при статичному та динамічному навантаженні. Суть стенда з привідним барабаном полягає в можливості проведення досліджень при статичному навантаженні досліджуваного об'єкта (підвіски автомобіля) і фіксації через встановлений датчик відповідних даних на моніторі електронного динамометра ДЕ 0,5-0,5, а також можливості приведення в обертовий рух колеса та підвіски автомобіля від привідного барабана з перешкодою з персонального комп'ютера через перетворювач частоти (Altivar 71) за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0 та з візуалізацією у персональному комп'ютері даних з акселерометра. Розроблені стенди для дослідження характеристик роботи підвіски автомобіля за рахунок використання задіяних сучасних лабораторних засобів дають змогу визначити досліджувані характеристики дослідних об'єктів у широких діапазонах з фіксацією цих характеристик у персональних комп'ютерах. Це, зокрема, вплив кінематичних параметрів руху та поздовжньо-кутових коливань підресореної маси транспортних засобів із нелінійною силовою характеристикою системи підресорювання на їх керованість та інших. Отримані результати експериментальних досліджень підвіски автомобіля за використання розробленого й виготовленого стендового обладнання можуть стати базою для створення програмного продукту керованої підвіски.

**Ключові слова:** автомобіль, підвіска, стенд, статичне та динамічне навантаження.

### **Liashuk O., Hevko I., Hud V., Khoroshun R., Hevko B., Matviishyn A., Sipravska M. Stands for car suspension research**

The article provides a description of the developed and manufactured equipment (a stand with a drive drum) for carrying out a research on car suspension under static and dynamic loads. In particular, the work analyzed constructive schemes and principles of operation of the stands with tape and with rotary table for researching characteristics of the car suspension. The characteristics have been patented as a useful model of Ukraine. Based on them, the constructive schemes were developed and a stand with a drive drum for researching the car suspension with experimental equipment for fixing the studied characteristics under static and dynamic loading was made. The essence of the stand with a drive drum is the possibility to carry out the research under the static load of the object under study (car suspension) and fixing the relevant data on the monitor of electronic dynamometer DE 0.5-0.5 by the installed sensor, as well as the possibility to rotate the wheels and suspension of the car from the drive drum with an obstacle from a personal computer through a frequency converter (Altivar 71) using the software Power Suite version 2.3.0, and visualizations of the accelerometer data in a personal computer. The developed stands for researching performance of the car suspension characteristics by using modern laboratory equipment enable determining the studied characteristics of the experimental objects in wide ranges with the fixing of these characteristics in personal computers. This is, in particular, the influence of the kinematic parameters of movement and longitudinal-angular oscillations of the sprung mass of vehicles with a nonlinear force characteristic of the suspension system on their controllability and others. The obtained results of experimental studies of car suspension by using developed and manufactured bench equipment can become the basis for creating a controlled suspension software product.

**Key words:** car, suspension, stand, static and dynamic load.

**Постановка проблеми.** На сьогодні значна кількість видів автомобільного транспорту, що використовується як для виробничих, так і для власних потреб, вимагає забезпечення їх надійності й комфортності в експлуатації. Підвіска автомобіля має надзвичайно відповідальне значення під час його експлуатації. Від її надійної роботи залежать довговічність і надійність роботи багатьох систем автомобіля. Тому наші зусилля спрямовані на її дослідження за використання спеціально розробленого стендового обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У результаті аналізу стендового обладнання розробки спрямовані на системи підвісок, які не можуть вирішити проблему коливань автомобіля, оскільки вони дуже дорогі та сприяють збільшенню енергоспоживання автомобіля [12]. Для підвищення плавності ходу колісних транспортних засобів (КТЗ) широко застосовуються керовані системи підвіски [10; 12; 14; 20]. Основи дослідження динаміки транспортних засобів (ТЗ), що є важливою частиною класичної [8; 22] та сучасної теорії автомобіля, закладені у працях [1; 4; 7; 9; 11; 13; 17].

У працях [2; 3] ґрунтовно розглядаються коливання колісних машин, спричинені нерівностями дороги, які впливають на плавність ходу. Методики і результати експериментальних досліджень плавності ходу, визначення параметрів і характеристик систем відображені в працях [15; 16], а також розглянуті питання плавності ходу, керованості і стійкості руху багатовісних колісних машин. Способи підвищення віброзахисних властивостей підвісок різних транспортних засобів із застосуванням пневматичних, гідропневматичних ресор і гідравлічних амортизаторів із саморегульованими за рахунок енергії коливань характеристиками наведені в працях [18; 19, 21; 23].

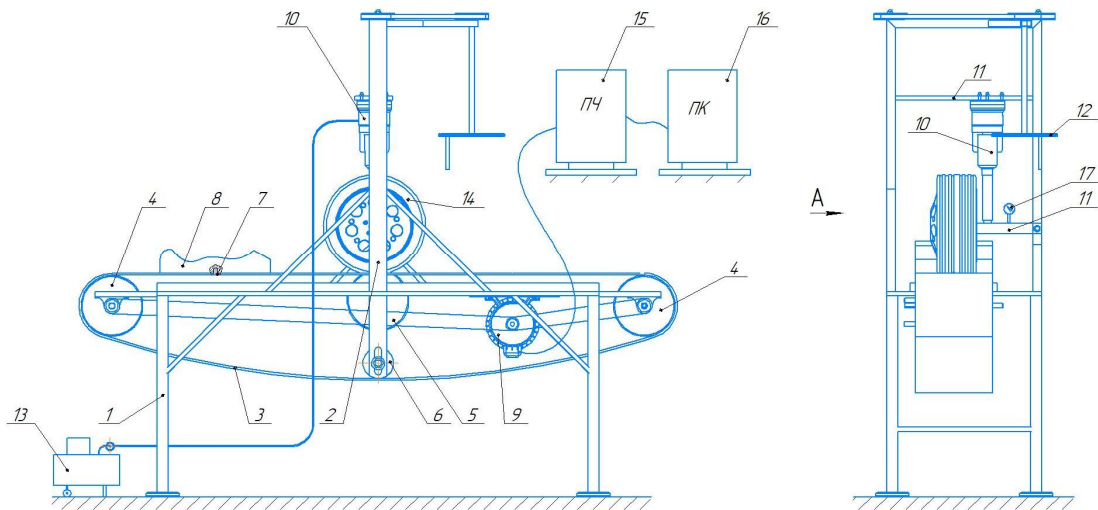
**Постановка завдання.** Наше завдання – розроблення стендів для дослідження впливу кінематичних параметрів руху та поздовжньо-кутових коливань підресореної маси транспортних засобів із нелінійною силовою характеристикою системи підресорювання на їх керованість з метою підвищення стійкості руху вздовж криволінійних ділянок шляху з нерівностями.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення експериментальних досліджень підвіски автомобіля нами було розроблено й запатентовано ряд стендів. Зокрема, розроблено стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля (пат. України № 150771) [6], який виконано у вигляді рами 1, на якій закріплено опору 2 і механізм при-

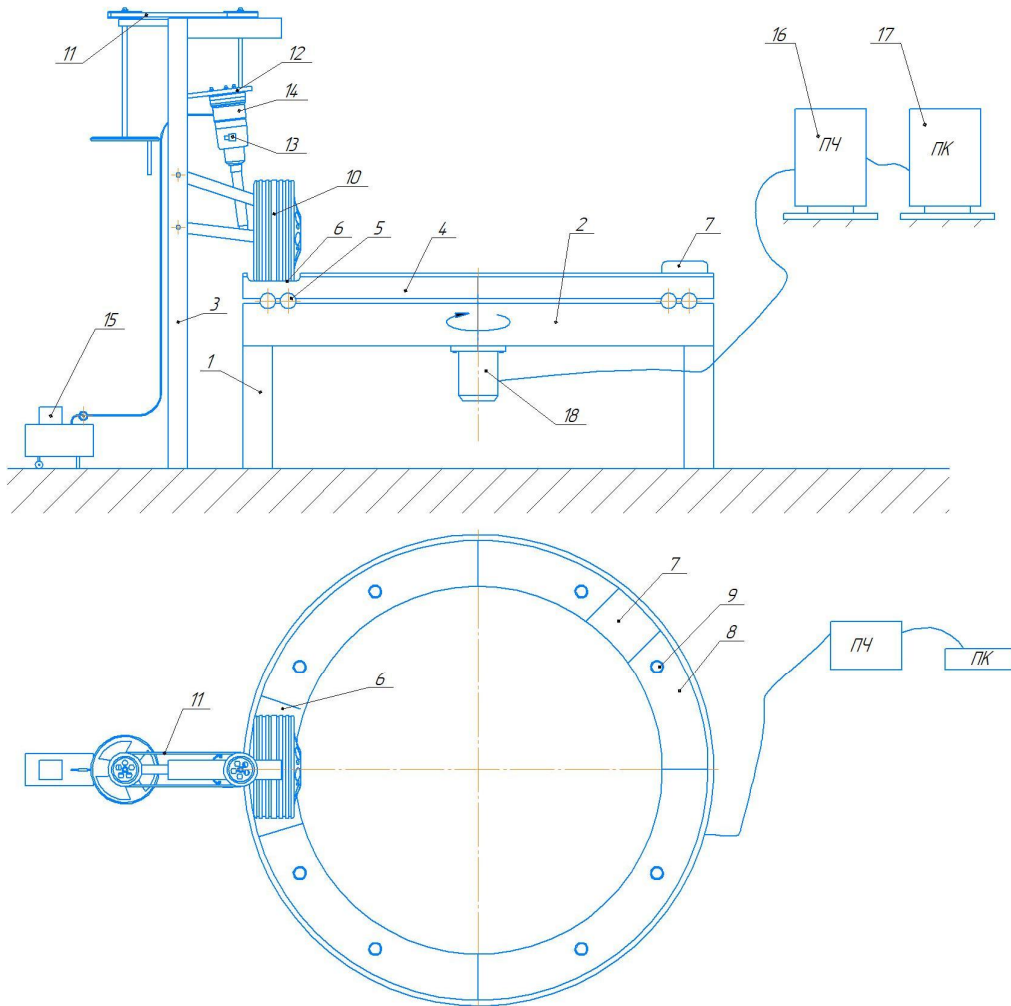
воду коліс 9 (рис. 1). Механізм приводу коліс 9 приводить в обертовий рух привідні барабани 4, які приводять у рух стрічку 3. У стрічці 3 виконані отвори 7, в які кріпляться перешкоди руху 8. Натяг стрічки 3 забезпечується натяжним 6 та опорним 5 роликками, які закріплені в опорі 2. Також в опорі 2 закріплені кріпильні елементи 11, в яких встановлена підвіска автомобіля 10 з колесом 14 та пристрій для показу досліджуваних даних 17. Регулювання параметрів підвіски автомобіля 10 проводиться навантажувальним механізмом 12 і регульованою пневмокамерою 13. Параметри механізму приводу коліс 9 регулюються з ПК 16 через перетворювач частоти 15.

Під час проведення дослідження після подачі сигналу з ПК 16 через перетворювач частоти 15 механізм приводу коліс 9 приводить у рух привідні барабани 4, які приводять у рух стрічку 3. При русі стрічки 3 перешкоди руху 8, які закріплені в її отворах 7, потрапляють під колесо 14, що спричинює спрацювання підвіски автомобіля 10 і коригування її параметрів регульованою пневмокамерою 13. При цьому зміна параметрів підвіски автомобіля 10 знімається на пристрої для показу досліджуваних даних 17.

Також нами розроблено ще одну конструкцію стенда для дослідження характеристик підвіски автомобіля (пат. України № 148601) [5], який виконано у вигляді рами 3, на якій закріплено навантажувальний механізм 11 і кріпильні елементи 12 підвіски автомобіля 14 з колесом 10 (рис. 2). Підвіска автомобіля 14 з'єднано з регульованою пневмокамерою 15, а також у ній вмонтовано датчик 13 показу досліджуваних даних. Колесо 10 підвіски автомобіля 14 перебуває в контакті з торцевою поверхнею поворотного стола 4, який встановлено з можливістю колового обертання в підшипниковій опорі 5 на нерухомому столі 2. Нерухомий стіл 2 жорстко встановлено на опорах 1. Поворотний стіл 4 приводиться в рух електроприводом 18, параметри руху якого регулюються з персонального комп'ютера 17 через перетворювач частоти 16. На торцевій поверхні поворотного стола 4 виконано паз 6, в якому гвинтами 9 закріплено виступи меншої 8 та більшої 7 висоти (перешкоди). Під час проведення дослідів після подачі сигналу з ПК 17 через перетворювач частоти 16 електроприводом 18 приводиться в обертовий рух поворотний стіл 4, з яким контактує колесо 10. Відповідно колесо 10 починає обертатися, найжджаючи на виступи меншої 8 та більшої 7 висоти (перешкоди), що призводить до спрацювання підвіски автомобіля 14 і коригування її параметрів регульованою пневмокамерою 15. При цьому зміна параметрів підвіски автомобіля 14 фіксується через датчик 13 показу досліджуваних даних.



**Рис. 1.** Схема стенда зі стрічкою для дослідження характеристик підвіски автомобіля  
**Fig. 1.** Scheme of the stand with tape for researching the characteristics of the car suspension

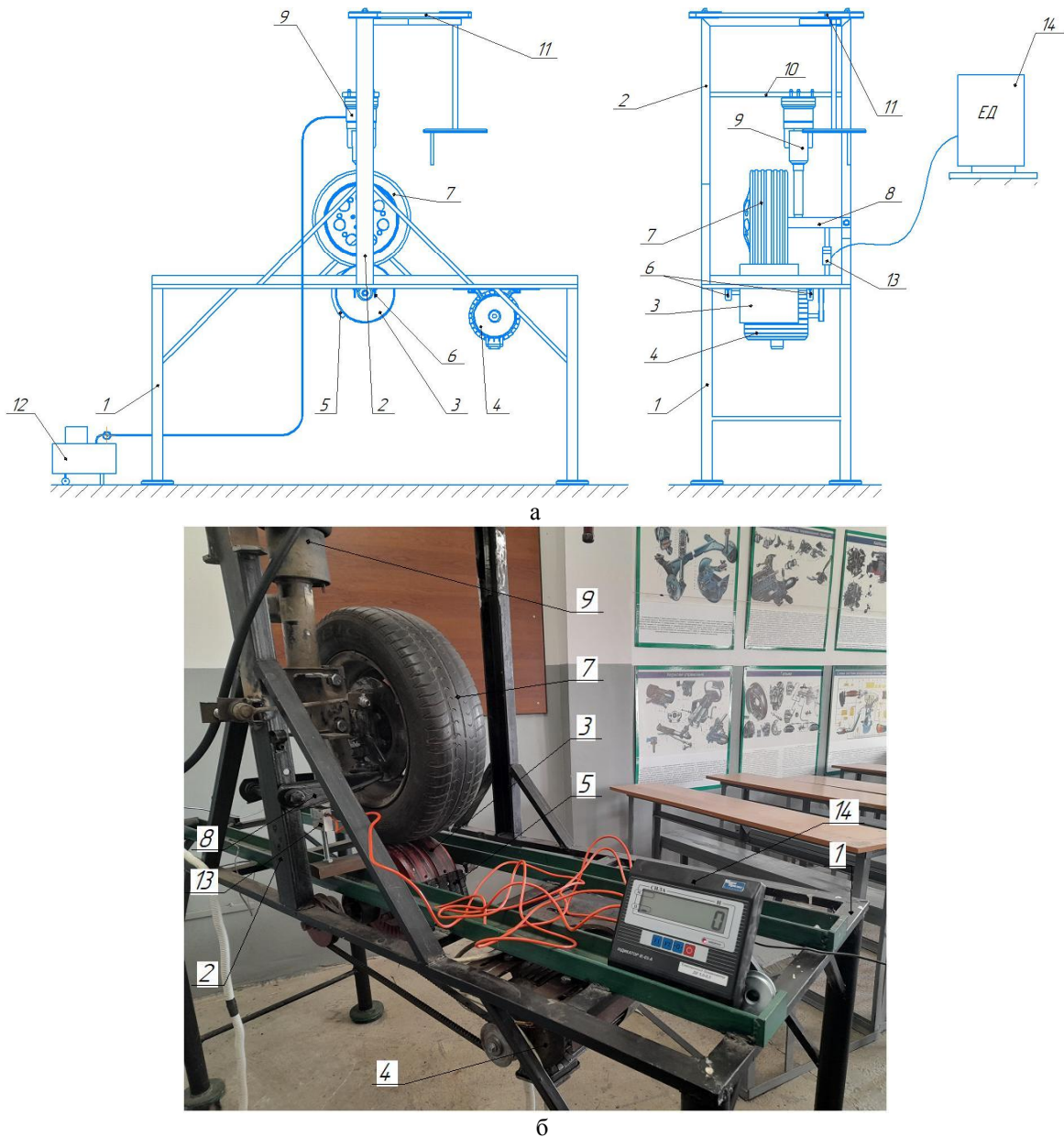


**Рис. 2.** Схема стенда з поворотним столом для дослідження характеристик підвіски автомобіля  
**Fig. 2.** Scheme of the stand with a rotary table for researching the characteristics of the car suspension

Для проведення експериментальних досліджень з метою підтвердження результатів теоретичних досліджень і уточнення відповідних параметрів на базі розроблених стендів було спроектовано та виготовлено стенд з приводним барабаном для дослідження підвіски автомобіля, конструктивну схему та загальний вигляд якого наведено на рис. 3, 4. Суть стенда з приводним барабаном полягає в можливості проведення досліджень при статичному навантаженні досліджуваного об'єкта (підвіски автомобіля) і фіксації зміни в часі швид-

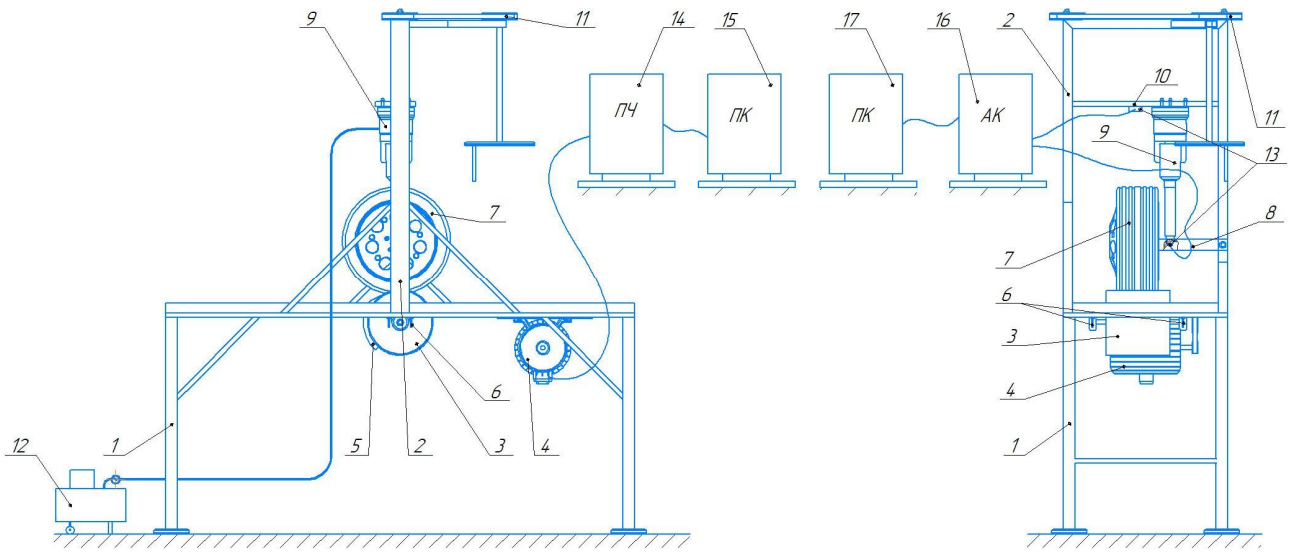
кості руху та зміни величини критичного кута керованості – за однакових усіх параметрів та критичного значення динамічного кута повороту для пружної характеристики амортизаторів за малих амплітуд поздовжньо-кутових коливань.

Зокрема, на рис. 3 наведено конструктивну схему та загальний вигляд стенда з приводним барабаном для дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при статичному навантаженні, а на рис. 4 – при динамічному навантаженні.

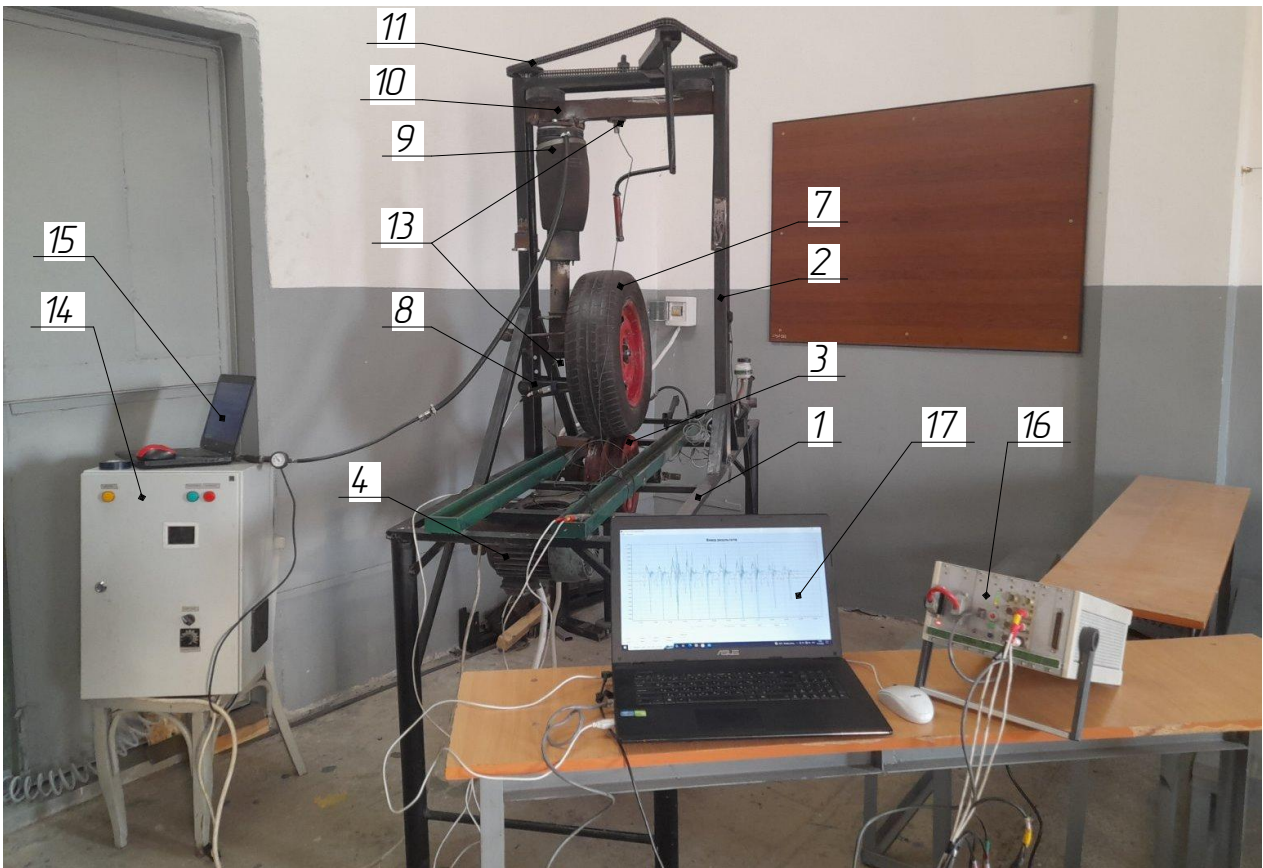


**Рис. 3.** Стенд з приводним барабаном для дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при статичному навантаженні: а) конструктивна схема; б) загальний вигляд

**Fig. 3.** A stand with a drive drum for researching the car suspension with experimental equipment for fixing the studied characteristics under static load: а) constructive scheme; б) general appearance



а



б

**Рис. 4.** Стенд з приводним барабаном для дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при динамічному навантаженні:

а) конструктивна схема; б) загальний вигляд

**Fig. 4.** A stand with a drive drum for researching the car suspension with experimental equipment for fixing the studied characteristics under static load:

а) constructive scheme; б) general appearance

Стенд з приводним барабаном виконано у вигляді рами 1, на якій закріплено опору 2 (див. рис. 3 і 4). У рамі 1 на кронштейнах 6 з можливістю зміщення по вертикалі закріплено приводний барабан 3 з перешкодою 5, який приводиться в рух електроприводом 4. В опорі 2 закріплено балку 10, до якої кріпиться підвіска автомобіля 9 з колесом 7. Підвіску автомобіля 9 з колесом 7 також закріплено в нижньому важелі 8, який з можливістю вертикального зміщення закріплено в опорі 2. Регулювання параметрів підвіски автомобіля 9 проводиться навантажувальним механізмом 11 і тиском компресора 12 пневмокамери підвіски автомобіля 9.

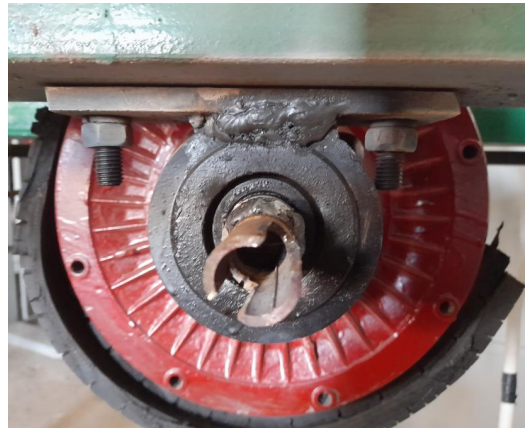
Під час проведення дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при статичному навантаженні використовується електронний динамометр 14 (див. рис. 3). Для цього між нижнім кінцем підвіски автомобіля (рухомою частиною) 9 та рамою (нерухомою частиною рамної конструкції) 1 встановлюється датчик електронного динамометра 13 ДЕ 0,5-0,5. Далі для отримання відповідних даних у статистиці згідно з розробленою методикою проводиться його навантаження.

Під час проведення дослідження підвіски автомобіля з експериментальним обладнанням для фіксації досліджуваних характеристик при динамічному навантаженні використовуються перетворювач частоти (Altivar 71) 14, керування яким здійснюється з персонального комп'ютера (ПК) 15 за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0, та акселерометр 16 з візуалізацією даних у персональному комп'ютері 17. Дослідження проводять таким чином. Після подачі сигналу з ПК 15 через перетворювач частоти 14 на електропривід 4 останнім приводиться в рух приводний барабан 3 з перешкодою 5. За рахунок сили тертя приводний барабан 3 приводить в обертливий рух колесо 7, яке прокочується по ньому, час від часу наїжджаючи на перешкоду 5. За рахунок цього спрацьовує підвіска автомобіля 9, яка починає здійснювати переміщення у вертикальному напрямі, величину яких фіксує акселерометр 16 з візуалізацією даних у персональному комп'ютері 17. Коригування параметрів підвіски здійснюється тиском компресора 12 пневмокамери підвіски автомобіля 9 та навантажувальним механізмом 11.

Під час проведення експериментальних досліджень для розширення його можливостей стенд з приводним барабаном (рис. 4) оснащено кронштейнами 6, які дають змогу проводити зміщення у вертикальному напрямі приводного барабана 3 з перешкодою 5 (рис. 5), що дозволяє проводити заміну колеса 7 на колеса різного діаметра. Також на барабані 3 є можливість проводити заміну пе-

решкоди 5 на перешкоди різної висоти, а також можливість встановлення декількох перешкод.

Частота обертання барабана 3 задається з персонального комп'ютера (ПК) 15 за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.3.0 через перетворювач частоти (Altivar 71) 14. Завдяки програмі Power Suite версії 2.3.0 здійснюється керування роботою електроприводу 4 (відповідно барабана 3 та колеса 7) і є можливість плавного нарощування та зменшення частоти його обертання в межах від 0 до 1480 об./хв, що дає змогу виконувати дослідження в широких межах швидкостей. А дані про витрати енергії і значення обертового моменту на валу електроприводу відображаються в установлені терміни часу у вигляді табличних даних та графічних залежностей на моніторі дисплея комп'ютера у відсотках від номінальних величин.



**Рис. 5.** Загальний вигляд приводного барабана 3 з перешкодою 5, закріплених у кронштейнах 6  
**Fig. 5.** General appearance of the drive drum 3 with the obstacle 5 fixed in the brackets 6

Зміна вихідного стану підвіски автомобіля 9 під час проведення досліджень при динамічному навантаженні (результати переміщення у вертикальному напрямі) фіксується акселерометром 16 з візуалізацією даних у персональному комп'ютері 17. Основні технічні дані універсальної реєстраційної системи (акселерометра 16): частота дискретизації перебуває в межах від 1 Гц до 2 кГц (на канал); похибка значень становить не більше ніж 4 % (1 % – похибка акселерометрів за паспортом і до 3 % – похибка установки) [3].

Розроблені стенди дадуть змогу визначити вплив кінематичних параметрів руху та позовжньо-кутових коливань підресореної маси транспортних засобів із нелінійною силовою характеристикою системи підресорування на їх керованість та підвищення стійкості руху вздовж криволінійних ділянок шляху з нерівностями тощо.

**Висновки.** Отже, на розробленому та виготовленому стенді з привідним барабаном для дослідження підвіски автомобіля можна проводити експерименти при статичному та динамічному навантаженнях, використовуючи при цьому прогресивне експериментальне обладнання для фіксації досліджуваних характеристик, а саме: електронний динамометр ДЕ 0,5-0,5, перетворювач частоти Altivar 71 з програмним забезпеченням Power Suite версії 2.3.0 та універсальну реєстраційну систему (акселерометр). Суть стенда з привідним барабаном полягає в можливості проведення досліджень при статичному навантаженні досліджуваного об'єкта (підвіски автомобіля) і фіксації зміни в часі швидкості руху та зміни величини критичного кута керованості – за однакових усіх параметрів та критичного значення динамічного кута повороту для пружної характеристики амортизаторів за малих амплітуд поздовжньо-кутових коливань. Загалом розроблені стенди дадуть змогу визначити вплив кінематичних параметрів руху та поздовжньо-кутових коливань підресореної маси транспортних засобів із нелінійною силовою характеристикою системи підресорювання на їх керованість та підвищення стійкості руху вздовж криволінійних ділянок шляху з нерівностями тощо. Методики й результати експериментальних досліджень із визначенням параметрів і характеристик систем будуть відображені в майбутніх працях, а саме питання плавності ходу, керованості і стійкості руху транспортних засобів.

#### Бібліографічний список

1. Артошенко А., Суярко О. Дослідження впливу характеристик підвіски малогабаритного автомобіля на ходові якості та її модернізацію. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2013. № 31 (1004). С. 21–27.
2. Мандрика В. Р., Шликова В. Г. Керованість і стійкість руху автомобіля В класу з системою ESP. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2013. № 31 (1004). С. 60-65.
3. Павленко В. М., Криворучко О. О. Сучасний стан розвитку активних підвісок легкових автомобілів. *Вісник НТУ «ХПІ». Автомобілебудування*. 2014. № 9 (1052). С. 54-60.
4. Самонастраивающийся амортизатор с программанной демпфирующей характеристикой / А. Д. Дербаремдикер, Р. А. Мусарский, И. О. Степанов, М. А. Юдкевич. *Автомобильная промышленность*. 1985. № 1. С. 13–15.
5. Стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля: пат. 148601 Україна: МПК G01N 17/00 (2021.01). № u202101835; заявл. 07.04.21; опубл. 26.08.21, Бюл. № 34.
6. Стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля: пат. 150771 Україна: МПК G01N 3/00, F16D 65/00. № u202106434; заявл. 15.11.21; опубл. 13.04.22, Бюл. № 15.
7. Adaptive tracking control for active suspension systems with non-ideal actuators / H. Pan, W. Sun, X. Jing, H. Gao, J. Yao. *Journal of Sound and Vibration*. 2017. 399. P. 2-20.
8. An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension / Moheyeldein M. M., El-Tawwab A. M. A., El-gwwad K. A. A., Salem M. M. M. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences* (to be published).
9. Audi Technology Portal: Dynamic Ride Control. URL: [https://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/suspension-controlsystems/dynamic-ride-control\\_en](https://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/suspension-controlsystems/dynamic-ride-control_en) (Last accessed: 1st August 2018).
10. Bello M. M., Babawuro A. Y., Fatai S. Active suspension force control with electro-hydraulic actuator dynamics. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10, No 23. P. 17327-17331.
11. Effectiveness evaluation of hydropneumatic and semi-active cab suspension for the improvement of ride comfort of agricultural tractors / K. Sim, H. Lee, J. W. Yoon, C. Choi, S. H. Hwang. *Journal of Terramechanics*. 2017. 69. P. 23-32.
12. Electromagnetics hybrid activepassive vehicle suspension system / I. Martins, J. Esteves, F. P. da Silva, P. Verdelho. Lisbon: Technical University of Lisbon, 2015.
13. Guiggiani M. The science of vehicle dynamics. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. 130 p.
14. Gysen B. L. J., Janssen J. L. G. Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*. 2016. Vol. 59, No 3. P. 1156-1163.
15. Jazar R. N. Vehicle dynamics. New York: Springer New York, 2014. 396 p.
16. Jazar R. N. Vehicle dynamics: theory and application. Boston: Springer US, 2008. 1015 p.
17. Motor Trend: 2014 Chevrolet Corvette Stingray Z51 First Test. URL: <https://www.motortrend.ca/en/news/2014-chevrolet-corvette-stingray-z51-firsttest/#2014-chevrolet-corvette-stingray-z51-suspension> (Last accessed: 1st August 2018).
18. Popp K., Schiehlen W. Ground vehicle dynamics. Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. 396 p.
19. Popular Mechanics: 3 Technologies That Are Making Car Suspensions Smarter Than Ever. URL: <https://www.popularmechanics.com/cars/car-technology/a14665/why-car-suspensionsare-better-than-ever/> (Last accessed: 1st August 2018).
20. Rosli R., Mailah M., Priyandoko G. Active Suspension System for Passenger Vehicle using Active Force Control with Iterative Learning Algorithm. *WSEAS Transactions on Systems and Control*. 2014. Vol. 9, No 2. P. 120-127.
21. Schramm D., Hiller M., Bardini R. Vehicle dynamics. Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. 396 p.
22. Shafie M., Bellob M., Khan R. M. Active Vehicle Suspension Control using Electro Hydraulic Actuator on Rough Road Terrain. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*. 2015. Vol. 9, No 1. P. 15-30.
23. Taghavifar H., Mardani A. Off-road vehicle dynamics. Cham: Springer International Publishing, 2016. 396 p.

Стаття надійшла 15.09.2022