



С. В. Попов, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-2381-152X

Полтавський державний аграрний університет

e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЯКОСТІ ГВИНТОВОГО РОМБІЧНОГО ДОМКРАТА

Анотація. Гвинтові ромбічні домкрати є поширеними механізмами для підйому транспортних засобів у побутових та ремонтних умовах. Визначення їхніх силових характеристик та якості є важливим для оцінки технічного стану, ефективності конструкції та можливостей подальшого вдосконалення. У зв'язку з тим, що пряме вимірювання навантажень на домкрат потребує складного обладнання, доцільним є застосування непрямих методів, зокрема через момент, прикладений до рукоятки. Для експериментального визначення силових характеристик ромбічного гвинтового домкрата було проведено серію вимірювань крутного моменту на рукоятці за допомогою динамометричного адаптера.

Ключові слова: домкрат ромбічний, висота підйому, висота підхвату, гвинт, різьба трапецієподібна, вантажопідйомність, сила, момент, тиск, адаптер динамометричний.

Постановка проблеми. Якість продукції у машинобудуванні має вирішальне значення, оскільки саме вона визначає надійність і довговічність виробів [1; 2]. Ромбічні механічні домкрати широко використовуються в автомобільній галузі для піднімання транспортного засобу з метою виконання ремонтних або сервісних робіт, зокрема для заміни колеса. Їх популярність зумовлена конструктивною простотою, відносно низькою вартістю та зручністю експлуатації. Водночас безпека та ефективність роботи з такими домкратами безпосередньо залежать від їхніх силових характеристик: вантажопідйомності, зусиль у гвинтовій передачі, моментів на рукоятці, стійкості під навантаженням тощо.

Промислові виробники декларують основні технічні характеристики домкратів, зокрема максимальну вантажопідйомність, межі висоти підйому, габаритні розміри та масу (рис. 1, табл. 1). Інколи зазначається необхідний момент на рукоятці. Проте за умов реальної експлуатації ці характеристики можуть відрізнятися від заявлених, що потенційно створює ризик для користувача, особливо якщо перевищується допустиме навантаження або зусилля на елементах конструкції. У зв'язку із цим постає необхідність у верифікації (перевірці) технічних характеристик домкрата, яка передбачає проведення відповідних експериментальних або розрахункових досліджень.

Реалізація повноцінного силового аналізу ромбічного домкрата потребує високоточних вимірювальних систем, таких як тензометричні платформи або важільні стенди. Таке обладнання дає змогу реєструвати реальні зусилля, моменти, деформації, розподіли навантажень. Проблема полягає у тому, що зазначене обладнання є високовартісним, громіздким і часто недоступним для навчальних закладів, невеликих лабораторій або інженерів-практиків, які здійснюють контроль у польових умовах.

Таким чином, виникає практично й науково важливе завдання – розробити доступні методи та підходи для оцінювання силових параметрів ромбічного домкрата без використання складного тензометричного устаткування. Це може включати використання аналітичних розрахунків, спрощених експериментів, комп'ютерного моделювання або доступних вимірювальних пристроїв (зокрема, динамометричних адаптерів). Реалізація такого підходу дасть змогу не

лише верифікувати заявлені характеристики, а й сформувати систему недорогого контролю якості та безпеки домкратів у побутових і виробничих умовах.

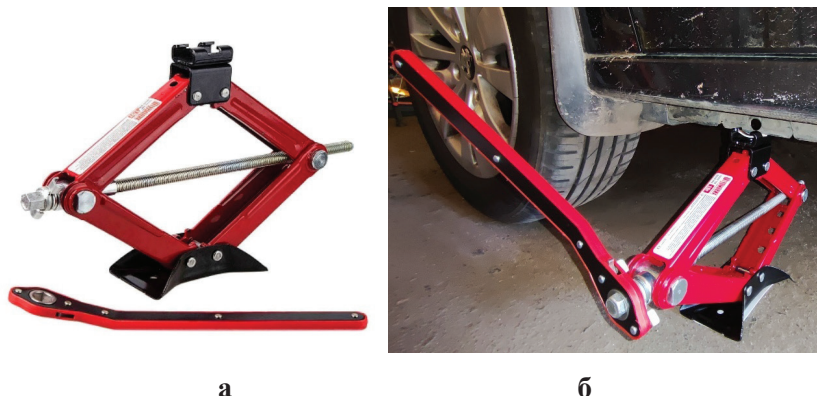


Рис. 1. Домкрат механічний ромбічний «Штурмовик ВВС-1500Т»: а – вид загальний; б – принцип дії

Таблиця 1

Технічна характеристика домкрату ромбічного «Штурмовик ВВС-1500Т»

Назва параметра	Величина
Вантажопідйомність, т	1,5
Висота підйому, мм	390
Висота підхвату, мм	104
Розміри (довжина × ширина × висота), мм	425×100×95
Маса, кг	2,7

Аналіз останніх досліджень. У сучасному машинобудуванні активно досліджуються конструкції автомобільних домкратів із метою підвищення безпеки, зручності та ефективності їх експлуатації. Аналіз наукових робіт свідчить про використання інноваційних методів проектування, автоматизації та топологічної оптимізації для вдосконалення традиційних моделей домкратів.

У статті [3] пропонується розроблення автоматизованого автомобільного домкрата. Він працює від 12В акумулятора через мотор склоочисника та призначений для підняття вантажів до 2 т. Перевагами розробки є зниження фізичного навантаження, зручність керування за допомогою пульта, швидкість роботи та безпечність. Водночас серед недоліків необхідно відзначити складність конструкції, залежність від електроживлення, можливі проблеми з підключенням, а також обмежену вантажопідйомність. Стаття ґрунтується на практичному тестуванні та технічних розрахунках.

Автори [4] акцентують увагу на безпеці, зручності та ефективності запропонованої конструкції. Проведено порівняльний аналіз із ручним домкратом, де автоматизований показав кращі результати за висотою підйому (242 мм проти 200 мм) і швидкістю (20 с проти 32 с). Зазначено, що успішне впровадження цієї конструкції може революціонізувати спосіб підйому транспортних засобів для ремонту та технічного обслуговування, забезпечуючи сучасну, безпечну та ефективну альтернативу традиційним ручним домкратам.

Активна увага приділяється параметричному 3D-моделюванню для дослідження, проектування та кінематичного аналізу автомобільного домкрата [5]. Основною метою дослідження є створення універсальної CAD-моделі, де всі конструктивні елементи залежать від одного основного параметра, а саме кута обертання гвинта. Проведено аналітичний і числовий аналіз

підняття з належним збігом результатів. Перевагами є точність, адаптивність та можливість оптимізації конструкції. Недолік роботи полягає в акценті лише на ручні механізми без урахування електромеханічної автоматизації.

Програмне забезпечення SolidWorks і ANSYS Workbench застосовано для моделювання та структурного аналізу ромбічного домкрата [6]. Визначено деформації та напруження (зокрема, за критерієм Мізеса) під дією сили у 2943 Н. Результати показали, що максимальні значення напружень і деформацій залишаються в допустимих межах, що свідчить про безпечність конструкції. Дослідження також надає рекомендації щодо вдосконалення конструкції та можливості аналізу інших типів домкратів у майбутньому.

Аналіз конструкції та топологічну оптимізацію ромбового домкрата для легкових автомобілів за допомогою програмного забезпечення SolidThinking Inspire 2016 здійснено авторами [7]. Проведено лінійний статичний аналіз для моделей Proton, Honda та Toyota. Запропоновано новий дизайн верхньої та нижньої лап домкрата. Це дало змогу зменшити масу конструкції на 35% (з 2,1 кг до 1,4 кг), зберігши необхідну міцність і безпечність використання. Робота підкреслює важливість зменшення маси деталей автомобіля за рахунок оптимізації.

Проектуванню та аналізу домкрата для легкових автомобілів присвячено роботу [7]. Колективом авторів розроблено модель домкрата в середовищі CATIA V5. Проведено розрахунки міцності та структурний аналіз в ANSYS. Досліджено напруження, деформації та несучу здатність конструкції. У результаті запропоновано полегшену конструкцію з меншою числом деталей, що спрощує складання і підвищує надійність. Отримані результати підтверджують безпечність та довговічність нового домкрата за навантаження до 5000 Н.

Детальний аналіз конструкції гвинтового домкрата проведено вітчизняними науковцями [9]. Було побудовано його твердотілу 3D-модель, виконано інженерні розрахунки (вантажопідйомність, самогальмування, передавальне відношення), а також реалізовано комп'ютерне моделювання навантаження. Отримані результати мають низький рівень похибки (до 4%) і підтверджують адекватність моделі. Робота має теоретичну та прикладну цінність для підготовки фахівців у галузі машинобудування.

У роботі [10] застосовано сучасні комп'ютерні технології (SolidWorks і VR) для реверс-інжинірингу ромбічного домкрата. Автори побудували 3D-модель домкрата, дослідили залежність висоти підйому від кута між середніми підйомниками та кількості обертів гвинта, а також візуалізували отримані результати у VR-середовищі. Робота є прикладом інтеграції STEM-технологій у практичну підготовку здобувачів освіти.

Отже, чималу кількість наукових досліджень як закордонних, так і вітчизняних авторів присвячено дослідженню силових характеристик механічних домкратів, оптимізації їхньої конструкції з використанням скінчено-елементного аналізу спеціалізованого програмного забезпечення. Для його реалізації виникає необхідність розроблення твердотілої 3D-моделі об'єкта дослідження, що є доволі тривалим та складним процесом. Конструкції ж домкратів з електричним приводом є доволі складними та вимагають наявності джерела електричної енергії. Водночас питанням простого та швидкого розрахунку гвинтового домкрата без застосування прикладного програмного забезпечення та складного лабораторного обладнання приділено недостатньо уваги.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою статті є визначення реальних силових характеристик та якості виготовлення ромбічного механічного домкрата на підставі використання динамометричного адаптера під час піднімання колеса автомобіля. Перевагами використання адаптера є доступність, компактність і можливість проведення експериментів без складного та дорогого обладнання, що робить методику придатною для лабораторних, польових і навчальних досліджень.

Для оцінки силових характеристик та якості виготовлення ромбічного домкрату необхідно виконати такі завдання: 1) провести вимірювання обертового моменту на рукоятці ромбічного механічного домкрату на етапі відривання переднього колеса автомобіля від опорної поверхні та подальшого його підйому; 2) за величиною обертового моменту визначити зусилля на домкрат, зусилля у ходовому гвинті, а також діючий тиск у його витках, що є критерієм роботоздатності; 3) провести детальний аналіз отриманих результатів із побудовою графічних залежностей впливу висоти підйому транспортного засобу, кута між ланками механізму, величини обертового моменту рукоятки на зусилля домкрату, зусилля у ходовому гвинті та робочий тиск відповідно. Вимірювання обертового моменту (прикладений вручну) відбувалося з використанням динамометричного адаптеру Shahe ANC-340, що встановлювався між приводною рукояткою та домкратом.

Основна частина. Відповідно до розрахункової схеми, наведеної на рис. 2, визначимо основні співвідношення для механічного симетричного ромбічного домкрату.

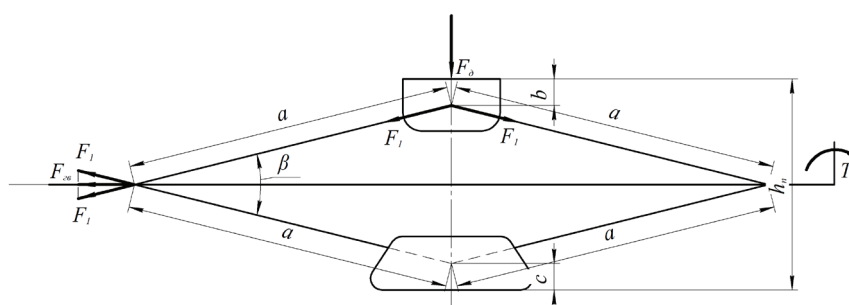


Рис. 2. Розрахункова схема ромбічного домкрату

Кут між ланками домкрату, β , °:

$$\cos \beta = 1 - \frac{(h_n - b - c)^2}{2 \cdot a^2}, \quad (1)$$

де h_n – висота до порогу, що виміряна під час експерименту, мм;

a , b , c – конструктивні характеристики домкрату, мм (155; 40; 25).

Після відривання переднього колеса від опорної поверхні навантаження на неї, $F_{оп}$, Н, дорівнюватиме тільки навантаженню на домкрат, F_d , Н:

$$F_{on} = F_d. \quad (2)$$

Навантаження у ланці домкрату, F_1 , Н:

$$F_1 = \frac{F_d}{2 \cdot \sin(\beta / 2)}. \quad (3)$$

Навантаження на гвинт домкрату, $F_{гв}$, Н:

$$F_{гв} = 2 \cdot F_1 \cdot \cos \beta / 2. \quad (4)$$

Також навантаження на гвинт домкрату $F_{гв}$, Н, може бути визначено:

$$F_{гв} = \frac{2 \cdot \pi \cdot T_p}{t + \pi \cdot d_2 \cdot f}, \quad (5)$$

де T_p – обертовий момент на рукоятці домкрату, Н·м (визначається експериментально);

t – крок різьби гвинта, м (2 мм);

d_2 – середній діаметр різьби гвинта, м (для Tr14×2 маємо 12,7 мм);

f – коефіцієнт тертя в різьбі (0,12).

Установимо взаємозв'язок між зусиллям на домкрат, F_d , Н, та обертовим моментом на рукоятці T_p , Н·м із використанням вищенаведених рівнянь (3) – (5):

$$F_d = 2 \cdot F_1 \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = F_{\text{зв}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{2 \cdot \pi \cdot T_p}{(t + \pi \cdot d_2 \cdot f)} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right). \quad (6)$$

Основним фактором виходу з ладу передачі з тертям ковзання є зношування. Критерієм роботоздатності та розрахунку ходової різьби домкрата є зносостійкість, що пов'язана з тиском. Для запобігання зношуванню обмежують робочий тиск у різьбі p допустимим тиском $[p]$, МПа, тобто

$$p = \frac{F_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_2 \cdot H \cdot \psi_h} \leq [p], \quad (7)$$

де $F_{\text{зв}}$ – сила, що діє на гвинт, Н;

d_2 – середній діаметр різьби гвинта, м (12,7 мм);

H – висота гайки, м (20 мм);

ψ_h – відношення робочої висоти профілю до кроку різьби (0,5 для трапецієподібної різьби);

$[p]$ – допустимий тиск у різьбі, МПа (60).

На підставі виміряного моменту було розраховано (табл. 2, рис. 3): зусилля на домкрат, F_d , Н; зусилля на гвинт, $F_{\text{гв}}$, Н; діючий допустимий тиск, p , МПа, у трапецієподібній різьбі ходового гвинта.

Побудуємо графічну залежність $F_d = f(h_n)$ (рис. 4), що ілюструє залежність сили на домкрат від висоти порогу. Аналізуючи залежність, помічаємо, що максимальне значення зусилля зафіксовано в момент відривання переднього лівого колеса від опорної поверхні. Це пояснюється перенесенням частини маси автомобіля з колеса безпосередньо на домкрат. Збільшення висоти порогу до 240 мм призводить до зміщення центра мас, тому зусилля зменшується, а маса авто перерозподіляється на решту коліс. Подальший рух домкрата вгору призведе вже до відривання заднього лівого колеса від опорної поверхні. Відбувається перехід із точкового до консольного піднімання. Виникає додатковий момент згину, що впливає на домкрат (зусилля зростає). Потім, коли кузов «відпрацював» опір та обидва лівих колеса виявилися у повітрі, маса авто перерозподіляється на праві колеса. Центр мас зміщується подалі від домкрата, отже, зусилля знову зменшується.

Таблиця 2

Отримані результати (колесо над опорною поверхнею)

№ з/п	Вимірювання			Розрахунок		
	Висота порогу, h_n , мм	Кут між ланками, β , °	Момент рукоятки, T_p , Н·м	Зусилля на домкрат, F_d , Н	Зусилля на гвинті, $F_{\text{зв}}$, Н	Діючий тиск, p , МПа
1	220	60	6,9	3697,7	6404,6	16,0
2	230	62	6,4	3542,4	5895,6	14,8
3	240	66	5,6	3371,8	5192,2	13,0
4	250	71	5,3	3479,1	4877,5	12,2
5	260	75	4,9	3444,4	4488,8	11,3

Зі збільшенням кута між ланками домкрата сила у гвинті зменшується (рис. 5). Це говорить про обернену залежність. Чим більший кут або підйом, тим менше навантаження на точку опори, адже система перерозподіляє зусилля через зміну геометрії та центру ваги автомобіля. Це важливий приклад того, як механічна взаємодія і геометрія впливають на значення силових параметрів.



Рис. 3. Вимірювання моменту

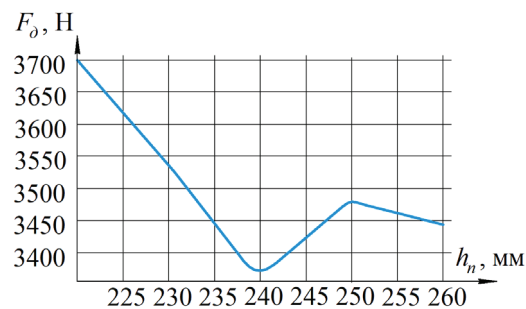


Рис. 4. Графічна залежність $F_d = f(h_n)$

Маємо лінійну залежність робочого тиску у гвинті з обертовим моментом на рукоятці гвинтового домкрата (рис. 6). Зі збільшенням моменту на рукоятці збільшується тиск у гвинті. Це свідчить про ефективну передачу зусилля через різьбову пару: момент, прикладений до рукоятки, передається у вигляді осьового зусилля, що створює тиск у гвинті.

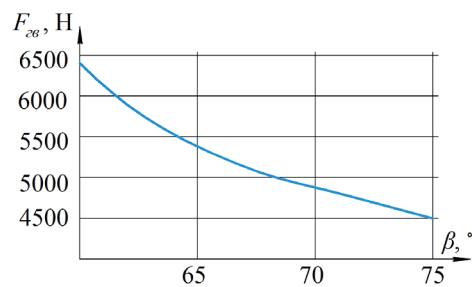


Рис. 5. Графічна залежність $F_{св} = f(\beta)$

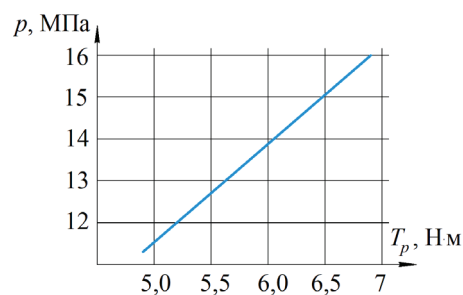


Рис. 6. Графічна залежність $p = f(T_p)$

Висновки. Проведено вимірювання обертового моменту на рукоятці ромбічного механічного домкрата «Штурмовик ВВС-1500Т» на етапі відривання переднього колеса від опорної поверхні та подальшого його підйому з використанням динамометричного адаптера Shahe ANC-340. Значення моменту варіювалося у діапазоні від 6,9 Н·м до 4,9 Н·м.

За величиною обертового моменту визначено зусилля на домкрат (max 3697,7 Н), зусилля у ходовому гвинті (max 6404,6 Н), а також діючий тиск у його витках (max 16 МПа), що є критерієм роботоздатності. Аналіз отриманих експериментальних даних засвідчив належну якість виготовлення виробу. Значення цих величин перебувають у допустимих межах, що свідчить про відсутність дефектів конструкції, точність. Це підтверджує відповідність виробу заявленим характеристикам, його безпечність під час експлуатації.

Проведено детальний аналіз отриманих результатів із побудовою графічних залежностей впливу висоти підйому транспортного засобу, кута між ланками механізму, величини обертового моменту рукоятки на зусилля домкрата, зусилля у ходовому гвинті та робочий тиск відповідно: зусилля, що діє на домкрат під час відривання переднього колеса від опорної поверхні, набуває максимального значення. Потім відбувається його зменшення до того моменту, поки не почне відриватися ліве заднє колесо також. На висоті порога 250 мм від опорної поверхні відбувається перехід від підйому лівого переднього колеса до підйому всього лівого боку автомобіля. Це супроводжувалося збільшенням зусилля на домкрат унаслідок опору кузова на кручення. Після завершення відривання заднього лівого колеса навантаження стабілізується та починається зменшуватися за рахунок перерозподілу маси; зусилля у гвинті ромбічного домкрата зменшується зі збільшенням кута між його ланками внаслідок зміщення центра ваги автомобіля і перерозподілу навантажень на інші колеса; залежність діючого тиску у гвинті від моменту на рукоятці є лінійною та пропорційною. Це свідчить про ефективну передачу моменту через гвинтову передачу без істотних утрат чи нелінійностей у конструкції.

Запропонований метод є ефективним. Він простий та достатньо точний для лабораторних, польових і навчальних досліджень, дає змогу швидко оцінити характеристики домкрата без застосування дорогих тензометричних або платформних систем високої вартості.

Список використаних джерел

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування : монографія. Полтава, 2019. 204 с.
2. Попов С.В. Дослідження точності оброблення циліндра різцем із твердого сплаву. *Науковий вісник*. 2025. Вип. 15. Т. 1. С. 105–113 URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/969>. DOI: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-25-1-12>.
3. Wosu D.Ch., Ijeoma, R.Ch. Design of an Automated Car Jack. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 2024. № 11(8). P. 83–90.
4. Ijeoma R.Ch., Wosu D.Ch. Analytic Approach Model of an Automated Car Jack. *International Journal of Innovative Scientific & Engineering Technologies Research*. 2024. Vol. 12. № 3. P. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13740193>.
5. Pervan N., Muminović A. J., Mešić E., Hadžiabdić V., Delić M. Design and Kinematic Analysis of the Car Jack. *TEM Journal*. 2020. Vol. 9. № 3. P. 924–928. DOI: <https://doi.org/10.18421/TEM93-12>.
6. Kiran C.S., Sruthi J. Design and Structural Analysis of Scissor Jack using ANSYS Workbench. *CVR Journal of Science and Technology*. 2018. Vol. 15. P. 88–94. DOI: <https://doi.org/10.32377/cvrjst1518>.
7. Azineer S.N., Zakaria M.K., Atika N.S., N. Norsilawati, A.R.M. Aminullah, Mohd H. Ibrahim. Design Analysis and Topology Optimization for Scissor Car Jack Using Static Linear Approach. *i TECH MAG*. 2019. Vol. 1. P. 19–22. DOI: <https://doi.org/10.26480/itechmag.01.2019.19.22>.
8. Shubham Sukale, Alimoddin Patel, Digambar Date, Vikramsinh Mane. Design and Analysis of Scissor Jack for Light Motor Vehicle. *IRJEdT*. 2022. Vol. 4, Issue 08. P. 226–231.



9. Зябров А.В., Захарова Д.Р. Зворотний інжиніринг гвинтового домкрата для лабораторного практикуму на основі САПР SOLIDWORKS. *Тиждень студентської науки 2022* : матер. 77-ї студ. наук.-техн. конф., м. Дніпро, 16–20 травня 2022 р. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. С. 593–595.

10. Малуєв П.А., Захарова Д.Р. Використання сучасних комп'ютерних технологій SOLIDWORKS та VIRTUAL REALITY для зворотного інжинірингу ромбічного домкрата. *Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2023* : зб. наук. праць міжнар. конф., м. Дніпро, 28–29 квітня 2023 р. Дніпро : НТУ «ДП», 2023. С. 59–63.

Стаття надійшла до редакції 18.07.2025

Стаття прийнята 05.10.2025

Статтю опубліковано 25.11.2025



S. Popov

Poltava State Agrarian University

EXPERIMENTAL STUDY OF FORCE CHARACTERISTICS AND QUALITY OF A SCREW SCISSOR JACK

Summary

Screw scissor jacks are widely used for lifting vehicles due to their simple design, compact dimensions, and affordable cost. However, the actual force characteristics of such jacks in real operating conditions may differ from the technical data declared by the manufacturer, which directly affects safety, reliability, and service life. This paper proposes a practical approach to determining the force characteristics and assessing the manufacturing quality of a mechanical scissor jack by measuring the torque applied to the handle using an accessible dynamometric adapter, the Shahe ANC-340.

Experimental measurements were carried out, and based on the obtained data, the forces acting on the jack, the load on the lead screw, and the working pressure in the trapezoidal thread – an essential indicator of operability and wear resistance – were calculated. Additionally, graphical dependencies were built to illustrate the influence of vehicle lifting height, the angle between the jack's links, and the applied torque on the key force parameters.

The results showed that the maximum force occurs when the wheel is lifted off the ground, followed by a decrease due to the redistribution of the vehicle's mass. An inverse relationship between the opening angle of the mechanism and the load on the screw was observed, as well as a linear relationship between the working pressure in the thread and the torque on the handle. This confirms the effective transfer of force through the jack's design without significant losses. The obtained data demonstrate the proper manufacturing quality of the investigated jack and confirm its suitability for safe use.

The proposed method is simple, affordable, and can be applied in educational, laboratory, and field conditions to quickly verify technical characteristics, enhancing the safety and reliability of lifting mechanisms.

Keywords: scissor jack, lifting height, pickup height, screw, trapezoidal thread, load capacity, force, torque, pressure, dynamometric adapter.