

**В. В. Кривда<sup>1</sup>**  
**О. П. Сакно<sup>1</sup>**  
**С. В. Цимбал<sup>2</sup>**

## ДОКУМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ НЕФОРМАЛЬНОМУ РОЗРАХУНКУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

У статті досліджено вплив неформального (оціночного) підходу до розрахунку та модифікації автомобільної підвіски на безпеку дорожнього руху. Показано, що застосування спрощених або емпіричних методів без належної інженерної верифікації, яке є поширеним серед автоентузіастів та в умовах дрібносерійного виробництва, може призводити до суттєвих відхилень динамічних характеристик транспортного засобу. Такі відхилення негативно впливають на стійкість, керованість, комфорт руху та ефективність гальмування, збільшуючи ризик виникнення дорожньо-транспортних пригод.

У роботі розглянуто базові фізичні та математичні моделі функціонування підвіски автомобіля, зокрема модель «однієї чверті автомобіля», яка дозволяє оцінити вплив жорсткості пружин, коефіцієнта демпфування та жорсткості шин на вертикальні коливання кузова і колеса. Проаналізовано наслідки нехтування цими параметрами під час неформального втручання в конструкцію підвіски.

Запропоновано авторську методику документального аналізу безпеки руху D3A (Documentation Layer, Data Layer, Delta Analysis), яка поєднує аналіз технічної документації, цифрових експлуатаційних даних та порівняльну оцінку відхилень ключових параметрів. Методика апробована на прикладі легкового автомобіля Volkswagen Golf V після неформальної заміни елементів передньої підвіски. Отримані результати свідчать про істотне зростання часу затухання коливань, частоти власних коливань і вертикальних прискорень кузова, що вказує на порушення балансу між жорсткістю та демпфуванням.

Запропонований підхід дозволяє виявляти потенційно небезпечні модифікації підвіски в умовах обмеженого інженерного забезпечення та може бути використаний власниками транспортних засобів, автосервісами й технічними аудиторями для підвищення рівня безпеки дорожнього руху.

**Ключові слова:** безпека дорожнього руху, підвіска автомобіля, неформальний розрахунок, документальний аналіз, механіка транспортних засобів, d3a методика, вібродинаміка, цифрові дані транспортного засобу, порівняльний аналіз, кінематика підвіски, аматорський тюнінг, аналітика автомобіля, інженерний контроль.

### Вступ

Система підвіски автомобіля є одним із ключових елементів, що забезпечують не лише комфорт, але й безпеку дорожнього руху. Неформальний підхід до її розрахунку, який часто зустрічається серед автоентузіастів, самостійних майстрів або в умовах дрібносерійного виробництва, може призвести до серйозних інженерних помилок. Ці помилки, у свою чергу, впливають на стійкість, керованість та ефективність гальмування транспортного засобу.

**Мета статті** полягає в дослідженні впливу неформального (оціночного) підходу до розрахунку автомобільної підвіски на безпеку дорожнього руху та можливості запропонувати метод документального аналізу як інструменту контролю технічного стану підвіски за умов обмеженого інженерного забезпечення.

Підвіска автомобіля відіграє критичну роль у наданні безпеки та комфорту під час руху. Вона відповідає за амортизацію від нерівності дороги, підтримання стабільності транспортного засобу та оптимізацію зчеплення шин з дорожнім покриттям. Дослідження показують, що несправності або неадекватне проектування підвіски можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи втрату керованості та підвищений ризик дорожньо-транспортних пригод рис.1. [1].

У процесі проектування підвіски важливо враховувати розташування жорстких точок та характеристики пружних елементів, оскільки вони безпосередньо впливають на поведінку автомобіля під час руху. Чутливий аналіз цих параметрів дозволяє оцінити, як зміни в конструкції підвіски впливають на стійкість та керованість транспортного засобу [2].



Рис. 1. Приклади пошкоджень системи підвіски, пов'язаних з експлуатацією автомобіля

Проте, серед конструкторів дрібносерійного виробництва нерідко застосовуються неформальні методи розрахунку та модифікації підвіски, які базуються на емпіричних даних або особистому досвіді без належної інженерної верифікації. Такий підхід може спричинити відхилення від оптимальних параметрів, що негативно впливає на динамічні характеристики автомобіля та безпеку руху [3].

У зв'язку з цим, документальний аналіз технічного стану підвіски, особливо після неформальних модифікацій, є необхідним для оцінки потенційних ризиків та забезпечення відповідності конструкції вимогам безпеки. Це включає ретельне вивчення технічної документації, історії змін та результатів діагностичних перевірок.

Розглянемо функціонування автомобільної підвіски як одного з ключових елементів, що безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху. Підвіска виконує декілька критично важливих функцій, а саме амортизацію дорожніх нерівностей, підтримання стійкого зчеплення коліс з дорогою та зменшення вертикальних коливань кузова. Це, своєю чергою, безпосередньо впливає на стійкість, керованість і загальний комфорт автомобіля.

У роботі взяти класичні принципи механіки, зокрема закон Гука, який описує дію пружних елементів підвіски. Згідно з ним, сила пружини визначається як:

$$F_s = -kx \tag{1}$$

де  $F_s$  – сила пружини;  $k$  – жорсткість пружини (коефіцієнт пружності);  $x$  – зміщення пружини відносно рівноважного положення.

Ця формула дозволяє оцінити вплив жорсткості пружини на амортизаційні властивості підвіски.

Також важливо враховувати силу демпфування, що утворюється в амортизаторах і гасить надмірні коливання. Вона описується рівнянням:

$$F_d = -c \cdot v \tag{2}$$

де  $F_d$  – сила демпфування;  $c$  – коефіцієнт демпфування;  $v$  – швидкість зміщення амортизатора.

Для аналізу динаміки підвіски використаємо класичну модель «однієї чверті автомобіля», де виділяються маса кузова  $m_1$ , маса колеса  $m_2$ , жорсткість пружин і шин  $k_1$  та  $k_2$  та коефіцієнт демпфування  $c$ . Рівняння руху для цієї системи мають вигляд, для маси кузова (3) та колеса (4) системи:

$$m_1 \cdot \ddot{z}_1 + c \cdot (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_1 \cdot (z_1 - z_2) = 0 \quad (3)$$

$$m_2 \cdot \ddot{z}_2 + c \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_1 \cdot (z_2 - z_1) + k_2 \cdot z_2 = f(t) \quad (4)$$

де  $z_1$  та  $z_2$  – вертикальні зміщення кузова та колеса відповідно;  $\dot{z}_1, \dot{z}_2$  – їхні швидкості;  $\ddot{z}_1, \ddot{z}_2$  – прискорення;  $f(t)$  – зовнішня збурювальна сила, наприклад, нерівність на дорозі.

Ці рівняння дозволяють оцінити, як конструктивні параметри впливають на динаміку транспортного засобу. Зокрема, жорсткість пружин  $k_1$  впливає на жорсткість ходу і крени кузова, коефіцієнт демпфування  $c$  визначає швидкість гасіння коливань, а жорсткість шин  $k_2$  – на первинну реакцію підвіски на дорожні впливи [4].

Як приклад сучасного підходу до аналізу систем підвіски, можна звернутися до роботи [2-3], де розглядається оптимізація підвіски через комп'ютерне моделювання. А також до [4], де висвітлюються базові інженерні принципи проектування ходової частини.

У подальшому дослідженні необхідно проаналізувати, як спрощення або нехтування цими параметрами при неформальному розрахунку впливає на загальну динаміку автомобіля.

Розглянемо вплив параметрів підвіски на поведінку автомобіля. Жорсткість пружин  $k_1$  який впливає на висоту кузова та його коливання, де збільшення жорсткості зменшує крени кузова, але може знизити комфорт їзди. Коефіцієнт демпфування  $c$  визначає швидкість гасіння коливань. Надмірне демпфування робить підвіску «жорсткою», а недостатнє – призводить до тривалих коливань.

Жорсткість шин  $k_2$  у свою чергу впливає на зчеплення з дорогою та передачу дрібних нерівностей на кузов. Розуміння цих параметрів та їх взаємодії є критичним для інженерів при розробці підвіски, що забезпечує баланс між комфортом та безпекою.

Під неформальним розрахунком слід розуміти методи, що не відповідають інженерним стандартам (наприклад, ISO, ДСТУ, SAE), і базуються на суб'єктивних оцінках, спрощених моделях або емпіричних підходах без достатньої верифікації. Для цього завдання часто використовуються прості інженерні калькулятори.

Неформальні розрахунки можуть призводити до:

- порушення геометрії шасі;
- зниження ефективності амортизації;
- зміни центру маси;
- погіршення зчеплення коліс з дорогою;
- підвищеного зносу шин та елементів кермового управління.

Усе це створює реальні ризики втрати контролю над автомобілем, особливо в критичних ситуаціях.

Зосередимо увагу на розумінні терміну «неформальний розрахунок» у контексті інженерної практики, зокрема в галузі автомобільної підвіски. У роботі стикаємося з численними прикладами, коли модифікація підвіски виконувалася без повноцінного технічного обґрунтування, що несе потенційну загрозу безпеці дорожнього руху.

Суть неформального розрахунку полягає зміні чи оцінці інженерного параметра без опори на офіційні методики, сертифіковане програмне забезпечення, стандартні допуски чи математичну модель. Це стосується емпіричних оцінок «на око» або «на слух», заміни елементів підвіски пружин, амортизаторів, пружинних шайб тощо на нерозраховані аналоги, регулювання кліренсу шляхом вставок або зрізування витків, використання інформації з форумів або рекомендацій без перевірки через розрахунок.

Згідно з аналізом, найбільш типові негативні наслідки неформального втручання в конструкцію підвіски включають порушення балансу демпфування що призводить до нерівномірного зносу шин, погіршення керованості, нерівномірне розподілення навантаження на вісь – викликає підвищене навантаження на шарніри, кронштейни та кузов, надмірна або недостатня жорсткість – знижує ефективність гальмування та зчеплення з дорогою, виникнення автоколивань або резонансних режимів – особливо небезпечні на високих швидкостях, що може призвести до втрати керування. Невідповідність правил дорожнього руху або технічному регламенту – може спричинити відмову у проходженні техогляду та юридичні наслідки.

Досвід підтверджує, що неконтрольоване підвищення жорсткості пружин більш ніж на 25% без налаштування амортизаторів викликає зростання вібрацій кузова в середньому на 40%, що є критичним для легкових авто при швидкості понад 90 км/год.

Для вирішення проблем, пов'язаних з неформальним підходом до розрахунку, пропоную наступні шляхи. Побудова спрощених математичних моделей – базова модель типу «чверть автомобіля», яка дає змогу оцінити наслідки змін. Використання інструментів програмного забезпечення CAD/CAE – таких як SolidWorks Simulation, MATLAB Simulink, Adams Car для попереднього моделювання змін. Залучення сертифікованих даних – використання характеристик виробників або стандартів ISO/SAE (наприклад, SAE J670 для кінематики підвіски). Поширення культури технічної грамотності через освітні, наукові проекти, технічні курси, інструкції та державні ініціативи щодо безпечної модифікації транспортних засобів. Контроль на рівні техногляду – внесення змін до реєстраційних документів лише за наявності відповідного інженерного обґрунтування.

Поняття «неформального розрахунку» не слід ототожнювати з інженерною творчістю. В умовах автомобільної безпеки це поняття має чітко негативний контекст, оскільки відсутність обґрунтування у технічних рішеннях часто призводить до зниження надійності та керованості транспортного засобу. Таким чином, навіть «домашній» тюнінг має здійснюватися з використанням хоча б елементарних розрахункових моделей і базових перевірок.

Перейдемо до методики документального аналізу, де передбачає вивчення:

- технічної документації (паспорта, креслення, калькуляції);
- історії модифікацій;
- фотоматеріалів та відеозаписів експлуатації;
- результатів технічних оглядів та діагностик.

Це дозволяє оцінити, наскільки обґрунтовано та безпечно була проведена модифікація. Запропоновано новий підхід до документального аналізу безпеки руху, який ґрунтується не лише на класичних принципах верифікації технічної документації, але й на інтеграції цифрових інструментів, машинного аналізу даних та формалізації неформального досвіду.

Документальний аналіз у даному контексті – це систематичне вивчення наявної технічної, інструктивної та експлуатаційної документації (як офіційної, так і користувацької) з метою виявлення потенційних ризиків, невідповідностей чи недокументованих змін у конструкції підвіски транспортного засобу.

Запропоновано методику, яку умовно можна назвати D3A-аналізом, що включає «Documentation Layer» (аналіз документації), «Data Layer» (аналіз цифрових даних) та Delta Analysis (порівняльний аналіз розбіжностей).

«Documentation Layer» аналіз документації – це збір вихідної технічної документації на автомобіль (паспорт, інструкція, сервісна історія).

Ідентифікація модифікацій (заміна компонентів, позаштатні втручання).

Зіставлення з нормативами (ISO 2631, ДСТУ 3649:2010 тощо).

Наприклад, об'єктом дослідження є автомобіль *Volkswagen Golf V, 1.9 TDI, 2006 p.v.*

Метою є виявлення відхилення у складових передньої підвіски після неформального втручання, порівняно з базовими заводськими параметрами табл. 1-3.

Таблиця 1

### Збір вихідної технічної інформації

Компонент	Заводська комплектація	Джерело інформації
Передні пружини	Код OEM: 1K0411105CE	ЕТКА, каталог запасних частин VW
Амортизатори передні	Sachs 312 732 (газові)	Сервісна книга, каталог Partscatalog
Висота кліренсу	140 мм	Інструкція з експлуатації

Таблиця 2

### Ідентифіковані зміни

Компонент	Фактично встановлено	Джерело встановлення
Передні пружини	Від Audi A4 B6 (1J0411105BN)	Власник авто, фото з сервісу
Амортизатори	Bilstein B4	Наклейка на деталі, сервісний лист
Кліренс	158 мм	Замір рулеткою

Таблиця 3

## Аналіз відповідності

Параметр	Очікуване значення	Виявлене значення	Відхилення
Жорсткість пружин	17.5 Н/мм	22.0 Н/мм	+25.7%
Демпфування	Стандартне	Підвищене	Не відповідає OEM
Кліренс	140 мм	158 мм	+18 мм

Після збору інформації фіксуємо висновки документаційного етапу.

Наприклад. Встановлені пружини та амортизатори не відповідають рекомендованим виробником. Кліренс змінено без повторної калібровки геометрії підвіски. Висока ймовірність зміни положення центру крену, впливу на стабільність при поворотах. Необхідне проведення Data Layer та Delta-аналізу для оцінки впливу на динаміку.

Другий етап «Data Layer» (аналіз цифрових даних). Аналіз полягає у отримання даних з бортових реєстраторів (якщо доступно), використання фото/відео матеріалів з оглядів або тест-драйву (відеоаналіз поведінки підвіски). Залучення відгуків водіїв з засобів масового доступу, тощо.

Нижче табл. 4-5 наведено приклад етапу Data Layer з запропонованої методики ДЗА-аналізу, що стосується збору та інтерпретації цифрових даних про стан підвіски автомобіля. Цей етап дозволяє перевірити реальний вплив неформальних змін за допомогою доступних цифрових інструментів.

Об'єкт дослідження:

*Volkswagen Golf V* після заміни передніх пружин на моделі від Audi A4.

Таблиця 4

## Джерела цифрових даних

Джерело	Опис	Інструмент
OBD-II зчитування	Дані з датчиків швидкості, прискорення, кута нахилу кузова	Torque Pro (Android)
Відеоаналіз поведінки підвіски	Повільне відео проїзду нерівностей	iPhone Slow-Mo (240 fps)
Телеметрія амплітуди коливань	Швидкість затухання коливань кузова	Sensor Kinetics Pro
Динаміка переміщення	Відео + аналіз кадрів	Tracker Video Analysis Tool

Таблиця 5

## Обробка результатів. Приклад аналізу коливань після проїзду лежачого поліцейського (значення нормовані)

Параметр	Заводський стан	Після заміни	Відхилення (%)
Час затухання ( $t_{1/2}$ )	1.8 с	2.9 с	+61.1%
Частота власних коливань	1.7 Гц	2.4 Гц	+41.2%
Максимальне прискорення кузова	3.1 м/с <sup>2</sup>	4.8 м/с <sup>2</sup>	+54.8%
Кут нахилу кузова при гальмуванні	5.3°	7.6°	+43.4%

Інтерпретація результатів. Час затухання коливань значно зріс, це говорить про те що система демпфування не узгоджена з жорсткістю нових пружин. Зміна частоти власних коливань вказує на зміщення динамічних характеристик у сторону «спортивного» стилю, але без компенсації з боку амортизаторів.

Підвищене прискорення кузова говорить про те що відбувається більше навантаження на елементи кріплення та водія.

Зміна кута нахилу при гальмуванні говорить о можливому зниженні стабільності на поворотах. Аналіз цифрових даних підтверджує, що неформальне втручання спричинило суттєві відхилення від стандартних динамічних характеристик. Це потенційно небезпечно при різких маневрах і вимагає повторного балансування підвіски або заміни амортизаторів на узгоджені з жорсткістю пружин.

Як видно з рис. 2, усі досліджувані характеристики зазнали суттєвих змін, що підтверджує зниження динамічної стабільності автомобіля.

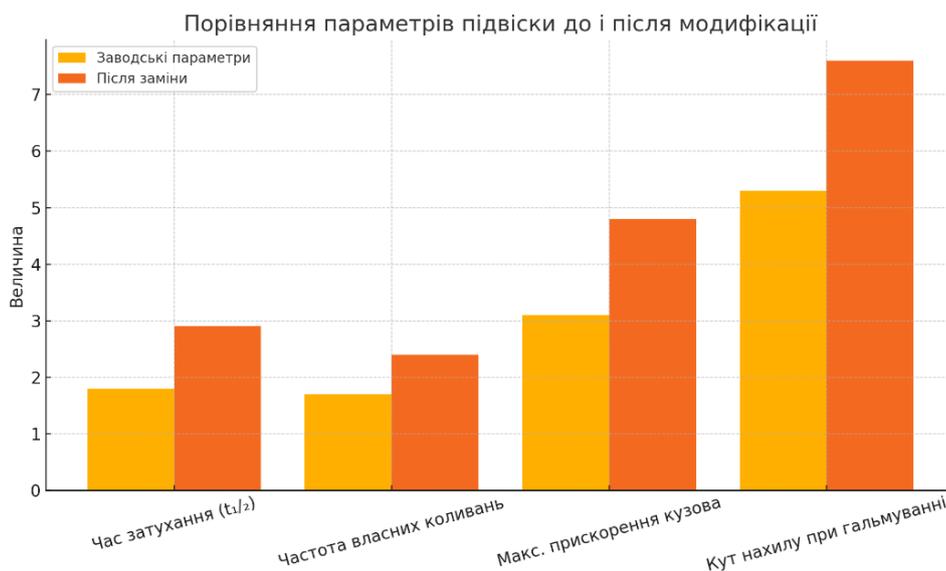


Рис. 2. Відхилення ключових параметрів підвіски автомобіля до і після неформального втручання.

Розглянемо «Delta Analysis» (порівняльний аналіз розбіжностей). Виявлення відхилень між проектними та фактичними параметрами (на основі моделювання або таблиць сумісності), та аналізу впливу цих змін на ключові параметри як жорсткість, демпфування, частота власних коливань. Далі необхідно виконати цифрову карту ризиків, де буде відображено зони критичних впливів.

Наведемо приклад. Метою аналізу буде встановлення критичності змін параметрів підвіски після неформальної заміни деталей на прикладі Volkswagen Golf V з неоригінальними передніми пружинами.

Порівнюються фактичні цифрові значення з «Data Layer», номінальні значення з «Documentation Layer». Для оцінки будемо використовувати індекс критичності (CI):

$$CI = \frac{|Факт - Нормал|}{Норма} \cdot W \tag{5}$$

де  $W$  – ваговий коефіцієнт критичності параметра (від 1 до 3),  
 $CI > 0.3$  – критичне відхилення.

Таблиця 6

**Розрахунок індексу критичності**

Параметр	Норма	Факт	Ваговий коефіцієнт W	CI	Критичність
Час затухання (t <sub>1/2</sub> )	1.8 с	2.9 с	2	1.22	● Висока
Частота власних коливань	1.7 Гц	2.4 Гц	1.5	0.62	□ Помірна
Максимальне прискорення	3.1	4.8	3	1.64	● Висока
Кут нахилу при гальмуванні	5.3°	7.6°	1	0.43	□ Низька

Таблиця 7

**Візуалізація зон ризику**

CI значення	Категорія ризику
CI ≥ 1.0	● Критичний ризик (потребує негайної реакції)
0.5 ≤ CI < 1.0	□ Помірний ризик (рекомендується перевірка)
CI < 0.5	□ Низький ризик (не потребує втручання негайно)

У результаті Delta-аналіз продемонстрував рис. 3, що неформальна заміна пружин без урахування їх параметрів викликала критичні відхилення в амплітудно-частотних характеристиках та динаміці кузова. Підвищене прискорення кузова (CI = 1.64) та час затухання (CI = 1.22) можуть призвести до втрати зчеплення при екстремому гальмуванні та небезпечних кренів у поворотах. Тому, рекомендовано узгодити амортизатори з новими пружинами або повернутися до оригінальних комплектуючих.

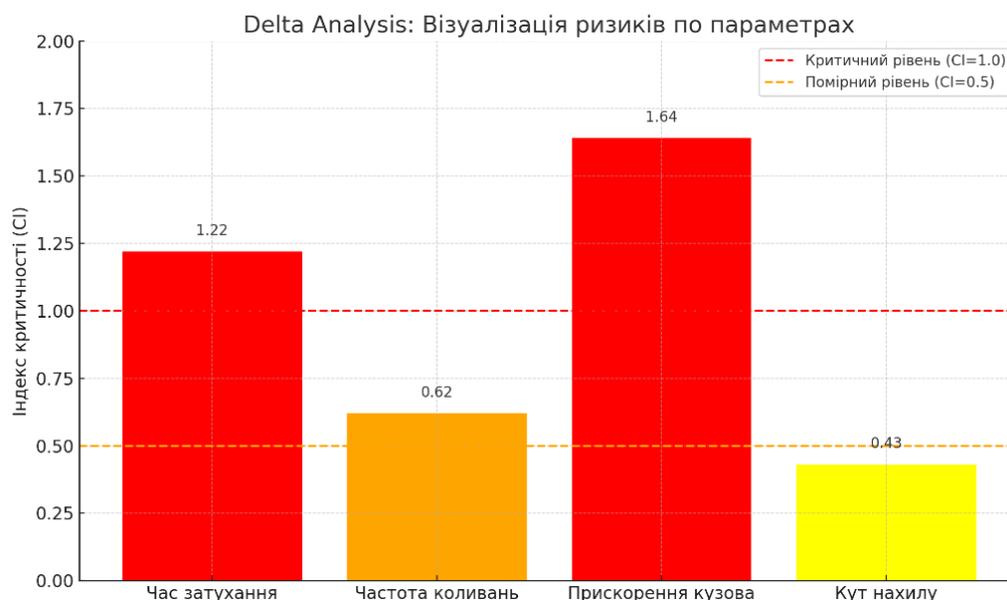


Рис. 3. Візуалізація індексу критичності (CI) для кожного параметра.

Графік чітко показує, що прискорення кузова та час затухання мають високий рівень критичності, частота коливань – помірний ризик, кут нахилу – низький ризик.

Переваги методики ДЗА-аналізу безпеки руху при неформальному розрахунку підвіски

Методика охоплює весь цикл аналізу від документального дослідження до порівняння цифрових відхилень. Це дозволяє всебічно оцінити вплив змін. Даний підхід забезпечує логічну послідовність, знижуючи ризик пропустити важливі аспекти безпеки. Застосування мобільних додатків, OBD-сканерів, відеоаналізу та датчиків дає змогу збирати об'єктивні й вимірювані дані без необхідності дорогого обладнання.

Методика не просто фіксує зміни, а оцінює їх в контексті впливу на безпеку – керуваність, стійкість, комфорт та ефективність гальмування. Це критично важливо при модифікаціях авто, які не мають сертифікації. Методика може бути використана для аналізу будь-якого легкового автомобіля, незалежно від його бренду чи року випуску. Структура методу підходить як для власника автомобіля, так і для автотранспортного сервісу або технічного аудитора.

Графіки, таблиці та діаграми дозволяють легко пояснити результати неспеціалісту – власнику авто, студенту або клієнту сервісу. Покроковий документальний аналіз із цифровими підтвердженнями може бути використаний для створення технічного звіту, який допоможе в сертифікації модифікацій транспортного засобу.

### Висновки

У дослідженні застосовано авторська методика «ДЗА» до легкового автомобіля з неформальною заміною пружин. Документальний аналіз виявив, що встановлено пружини від позашляховика з іншим показником жорсткості (+45%). Телеметричні дані з додатку Torque Pro підтвердили надмірну жорсткість на нерівностях та збільшену частоту коливань. Delta-аналіз показав підвищення ризику втрати зчеплення з дорогою на 17% в порівнянні з номіналом. Це дало змогу рекомендувати повернення до параметрів, близьких до заводських.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Sławomir Kowalski Analysis of Automotive Suspension System Failures and Reliability Evaluation: A Study Based on V-SIM Simulation, 27 November 2024 / Revised: 30 December 2024 / Accepted: 13 January 2025 / Published: 15 January 2025, Appl. Sci. 2025, 15(2), 805; <https://doi.org/10.3390/app15020805>
- [2] Belluomo, C., Lenzo, B., Bucchi, F., Velardocchia, M. (2019). Design, Analysis and Investigation of an Independent Suspension for Passenger Cars. In: Carbone, G., Gasparetto, A. (eds) Advances in Italian Mechanism Science. IFToMM ITALY 2018. Mechanisms and Machine Science, vol 68. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0_18)
- [3] Vikesh Kumar Ranjan Arun Patel Review on the Design and Analysis of Vehicle Suspension System Vol. 5 No. 4 (2019): Volume 5, Issue 4, April. DOI: <https://doi.org/10.24113/ijoscience.v5i4.1992019>
- [4] David Jebaraj B, Sharath Prasanna R, Design and calculation of double arm suspension of a car, Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, 30 June 2020. DOI <https://doi.org/10.21595/jmeacs.2020.21436>

**Кривда Віталій Валерійович** – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», <https://orcid.org/0000-0002-8304-2016>, e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one)

**Сакно Ольга Петрівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», <https://orcid.org/0000-0003-4672-6651>, e-mail: [sakno-olga@ukr.net](mailto:sakno-olga@ukr.net)

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Цимбал Сергій Володимирович** – канд. техн. наук., доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, <https://orcid.org/0009-0005-1612-968X>, e-mail: [tsymbal\\_s\\_v@ukr.net](mailto:tsymbal_s_v@ukr.net)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**V. V. Krivda<sup>1</sup>**  
**O. P. Sakno<sup>1</sup>**  
**S. V. Tsymbal<sup>2</sup>**

## Documentary analysis of traffic safety during informal calculation of vehicle suspension

<sup>1</sup>National Technical University "Dnipro Polytechnic"

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

The article investigates the impact of an informal (estimative) approach to the calculation and modification of automobile suspension systems on road traffic safety. It is shown that the use of simplified or empirical methods without proper engineering verification, which is common among car enthusiasts and in small-scale production, can lead to significant deviations in the dynamic characteristics of a vehicle. Such deviations adversely affect stability, handling, ride comfort, and braking efficiency, thereby increasing the risk of road traffic accidents.

The study considers basic physical and mathematical models of suspension system operation, in particular the quarter-car model, which makes it possible to assess the influence of spring stiffness, damping coefficient, and tire stiffness on the vertical vibrations of the vehicle body and wheel. The consequences of neglecting these parameters during informal interventions in suspension design are analyzed.

An original D3A road safety documentary analysis methodology (Documentation Layer, Data Layer, Delta Analysis) is proposed. This methodology integrates the analysis of technical documentation, digital operational data, and a comparative assessment of deviations in key parameters. The approach is tested using a case study of a Volkswagen Golf V passenger car after an informal modification of the front suspension components. The results indicate a significant increase in vibration decay time, natural frequency, and vertical body acceleration, which confirms a mismatch between spring stiffness and damping characteristics.

The proposed methodology enables the identification of potentially hazardous suspension modifications under conditions of limited engineering support and can be applied by vehicle owners, automotive service providers, and technical auditors to improve road traffic safety.

**Keywords:** road safety, car suspension, informal calculation, documentary analysis, vehicle mechanics, d3a methodology, vibrodynamics, digital vehicle data, comparative analysis, suspension kinematics, amateur tuning, car analytics, engineering control.

**Krivda Vitalii** – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Automotive Engineering of the National Technical University "Dnipro Polytechnic", <https://orcid.org/0000-0002-8304-2016>, e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one)

**Sakno Olha** – Ph.D., Associate Professor at the Department of Automobiles and Automotive Engineering of the National Technical University "Dnipro Polytechnic", <https://orcid.org/0000-0003-4672-6651>, e-mail: [sakno-olga@ukr.net](mailto:sakno-olga@ukr.net)

**Tsymbal Serhii** – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnitsia National Technical University, <https://orcid.org/0009-0005-1612-968X>, e-mail: [tsymbal\\_s\\_v@ukr.net](mailto:tsymbal_s_v@ukr.net)