

Александров Денис, студент гр. Д-11-25,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ УДАРУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПІД КУТОМ ДО ПЕРЕШКОДИ

Анотація. У роботі розглядається динаміка ударної взаємодії транспортного засобу з нерухомою перешкодою під кутом. Побудовано розрахункову модель, що описує складну картину руху автомобіля, яка враховує переміщення як від поступального, так і від обертального рухів. Здійснено розрахунок динамічних параметрів удару з урахуванням моменту сили відносно центра мас. Результати дослідження є актуальними для вдосконалення дорожніх бар'єрних огорожень та проведення експертизи дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, динаміка удару, кут зіткнення, розрахункова модель, момент сили, обертальний рух, реакція перешкоди.

Вступ

Дорожньо-транспортні пригоди залишаються однією з найбільш поширених причин пошкодження транспортних засобів та травмування учасників дорожнього руху. Значна частина таких пригод пов'язана зі зіткненням автомобілів з нерухомими перешкодами, зокрема дорожніми бар'єрними огороженнями, опорами інженерних споруд та іншими елементами дорожньої інфраструктури [1].

Особливістю подібних аварій є те, що транспортний засіб часто взаємодіє з перешкодою під певним кутом. У такому випадку виникає складна динамічна картина руху, що включає поступальний та обертальний рух транспортного засобу. Це пояснюється тим, що лінія дії сили реакції перешкоди, як правило, не проходить через центр мас транспортного засобу.

Особливої актуальності набуває дослідження ударних взаємодій транспортних засобів з дорожніми бар'єрними огороженнями, оскільки такі конструкції широко застосовуються для підвищення безпеки дорожнього руху. Аналіз динаміки удару транспортного засобу під кутом до перешкоди має важливе значення для дослідження механіки дорожньо-транспортних пригод, підвищення безпеки транспортних засобів та вдосконалення конструкцій дорожніх бар'єрних огорожень.

Мета роботи

Метою роботи є побудова розрахункової моделі удару транспортного засобу під кутом до нерухомої перешкоди та аналіз основних динамічних параметрів процесу взаємодії.

Теоретичні основи процесу удару

Для опису динаміки ударної взаємодії використовуємо основні положення теореми про зміну кількості руху та рівняння динаміки обертального руху твердого тіла [2-4]. У якості спрощеної моделі удару транспортного засобу об перешкоду можна розглядати як короткочасну взаємодію твердого тіла з

жорсткою опорою. У момент контакту виникає імпульс сили, що спричиняє зміну швидкості транспортного засобу.

Імпульс сили визначається співвідношенням

$$S = R \cdot \Delta t$$

де S – імпульс сили;

R – динамічна реакція між транспортним засобом та бар'єрним огородженням;

Δt – тривалість ударної взаємодії.

У векторній формі зміна кількості руху описується рівнянням

$$\vec{S} = m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

де \vec{v}_1 – вектор швидкості транспортного засобу до удару;

\vec{v}_2 – вектор швидкості після удару,

m – маса транспортного засобу;

Згідно з теоремою про зміну кількості руху

$$R \cdot \Delta t = m \cdot (v_2 - v_1).$$

Оскільки сила реакції прикладена на певній відстані від центра мас транспортного засобу, виникає момент сили відносно центра мас [5-6]:

$$M_C = R \cdot l,$$

де l – плече сили відносно центра мас.

Обертальний рух транспортного засобу описується рівнянням

$$\varepsilon = \frac{M_C}{I_C}$$

M_C – момент інерції транспортного засобу відносно центра мас.

ε – кутове прискорення.

У результаті дії імпульсу моменту сили транспортний засіб отримує кутову швидкість, яку можна оцінити співвідношенням

$$\omega = \frac{M_C \cdot \Delta t}{I_C}$$

де ω – кутова швидкість обертання транспортного засобу після удару.

Оскільки удар відбувається під кутом α до перешкоди, швидкість транспортного засобу можна розкласти на складові відносно поверхні бар'єра

$$v_n = v \cdot \cos(\alpha);$$

$$v_t = v \cdot \sin(\alpha).$$

де v_n – нормальна складова швидкості до поверхні перешкоди;

v_t – тангенціальна складова швидкості вздовж поверхні бар'єра.

Саме нормальна складова швидкості визначає інтенсивність ударної взаємодії між транспортним засобом та перешкодою.

Зазначимо, що в реальних умовах сила реакції R змінюється нелінійно в процесі деформації кузова, тому для базового розрахунку нижче приймається її усереднене значення.

Більш повний опис зміни характеру обертального руху транспортного засобу протягом ударної взаємодії дає теорема про зміну кінетичного моменту (теорема про кутовий імпульс):

$$\int_0^{\Delta t} M_C dt = I_C \cdot (\omega_2 - \omega_1),$$

де ω_1 та ω_2 – кутові швидкості транспортного засобу до та після удару відповідно.

Проте використання цієї інтегральної залежності для прямих аналітичних розрахунків ускладнюється тим, що момент сили $M_C(t)$ не є сталою величиною. Процес деформації [7] силових елементів кузова (лонжеронів, підсилювачів, стійок) під час аварійної взаємодії супроводжується постійною зміною жорсткості конструкції [8]. Метал зазнає пластичних деформацій, локальних змінань і руйнувань, унаслідок чого сила реакції перешкоди, а отже і момент сили, змінюються в часі нелінійним чином.

Точне визначення функції $M_C(t)$ можливе лише за наявності телеметричних даних, отриманих під час проведення натурних краш-тестів. Тому в межах даної базової розрахункової моделі для оцінювання миттєвих динамічних навантажень доцільно застосовувати спрощений підхід, заснований на використанні усередненого значення сили реакції R та визначенні миттєвого кутового прискорення ε .

Приклад розрахунку

Для ілюстрації розглянемо умовний приклад. Нехай маса транспортного засобу становить $m = 1500$ кг. Швидкість автомобіля перед ударом $v_1 = 20$ м/с. Плече прикладання сили відносно центра мас $l = 0.6$ м.

Якщо під час удару в точці контакту А виникає реакція перешкоди (усереднене значення) величиною $R = 10000$ Н, то момент сили відносно центра мас становитиме

$$M_C = R \cdot l = 10000 \cdot 0.6 = 6000 \text{ (Нм)}.$$

Отриманий момент спричиняє обертання транспортного засобу та зміну його траєкторії руху після удару.

Аналіз розрахункової схеми удару

Для дослідження процесу взаємодії транспортного засобу з перешкодою була побудована розрахункова схема удару. На рисунку 1 зображено транспортний засіб, що рухається зі швидкістю v під кутом α до дорожнього відбійника.

У точці контакту A виникає реакція перешкоди R , напрямок якої визначається умовами взаємодії кузова автомобіля з бар'єрним огородженням. Лінія дії сили реакції не проходить через центр мас транспортного засобу C , унаслідок чого виникає момент сили відносно центра мас M_C , що спричиняє обертання автомобіля. Плече сили l визначається як найкоротша відстань від центра мас до лінії дії сили реакції R .

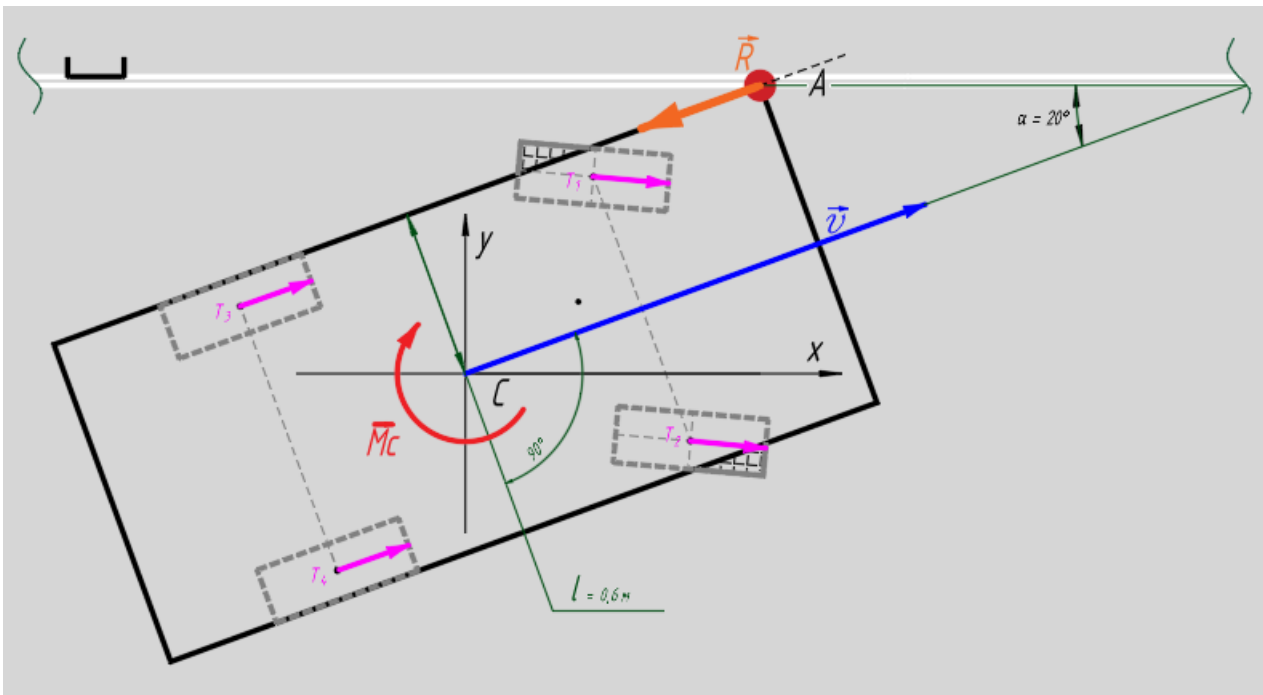


Рис. 1. Розрахункова схема удару транспортного засобу об дорожній відбійник під кутом α

Крім сили взаємодії з перешкодою, на транспортний засіб діють сили взаємодії шин з дорожнім покриттям T_1, T_2, T_3, T_4 , які визначають характер подальшого руху автомобіля після удару та впливають на величину сил тертя між колесами та дорогою. Таким чином, у момент удару транспортний засіб отримує зміну поступального руху центра мас та додатковий обертальний рух відносно нього.

Висновки

Побудовано розрахункову модель удару транспортного засобу об нерухому перешкоду під кутом, яка наочно демонструє механіку виникнення обертального моменту.

Встановлено, що внаслідок несиметричної ударної взаємодії транспортний засіб здійснює складний рух, який поєднує поступальне зміщення центра мас та обертання кузова.

Доведено, що величина кутового прискорення транспортного засобу прямо залежить від плеча прикладання сили реакції перешкоди та обернено пропорційна моменту інерції системи.

Запропонована розрахункова модель створює теоретичне підґрунтя для практичної оцінки ступеня пошкоджень кузова при експертизі дорожньо-транспортних пригод, а також може бути застосована при проектуванні та оптимізації жорсткості сучасних дорожніх бар'єрних огорожень.

Література

1. Зозуля В. М. Аналіз особливостей фронтального зіткнення автомобілів класу D.

2. Романенко, Л.Г. Теоретична механіка: Навч. посіб. для студ. ВУЗів / Л. Г. Романенко, В. Г. Солодов. 2-е вид. Х.: ХДАДТУ, 2002. 270 с.
3. Міщенко І.В., Воропай О.В., Красніков С.В. Теоретична механіка. Частина І. Статика. Кінематика: навчальний посібник. Х.: ФОП Бровін О.В. 2025. 158 с. ISBN 978-617-8238-95-7
4. Міщенко І.В., Воропай О.В., Красніков С.В. Теоретична механіка. Частина ІІ. Динаміка: навчальний посібник. Х.: ФОП Бровін О.В. 2025. 154 с. ISBN 978-617-8238-94-0
5. Міщенко І.В. Теоретична механіка: конспект лекцій. Х.: ХНАДУ, 2023. 207 с.
6. Нескреба Е. Є., Воропай О. В., Карпенко В. О. Методичні вказівки до практичних занять, РГР та СРС з дисципліни «Теоретична механіка», розділ «Статика» для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки G19 (192) – «Будівництво та цивільна інженерія». Х.: ХНАДУ, 2025. 124 с.
7. Воропай О. В., Шарапата А. С. Технічна механіка: Конспект лекцій. Харків : ХНАДУ, 2022. 124 с.
8. Мяковський В. А., Велешук П. І. Удосконалення технологічного процесу ремонту кузовних елементів автомобіля з дослідженням процесу фіксації пристроїв з пошкодженою поверхнею.
9. M. Diachuk, O. Lykhodii, Leontiev, D., L. Ryzhykh, & Yu. Aleksandrov. (2022). Dynamic modeling of semitrailer trucks equipped by steered wheels. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 16(1), 8691–8705. <https://doi.org/10.15282/jmes.16.1.2022.04.0687>
10. Леонтьєв Д.М., Лиходій О.С., Малий В.М. (2025). Особливості вирішення задачі повороту керованих коліс вантажних автомобілів. Підвищення якості продукції машинобудівних та ремонтних підприємств: зб. матеріалів ІV Всеукр. наук.-практ. онлайн-семінару, 29 трав. 2025 р./ Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, С. 10–14.

Науковий консультант: д.т.н., проф. Воропай О. В., зав. каф. деталей машин та теорії механізмів і машин.

Задорожний Дмитро, студент групи АА-21-24,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАСТОСУВАННЯ CFD МЕТОДІВ В ЛАБОРАТОРНІЙ РОБОТІ «ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ»

Сучасний етап розвитку інженерної освіти вимагає інтеграції традиційних методів навчання з новітніми цифровими технологіями. У курсі гідравліки однією з фундаментальних тем є вивчення рівняння Бернуллі, яке описує закон збереження енергії для потоку рідини. Традиційно дослідження цього закону проводиться на лабораторних стендах, що дозволяють наочно фіксувати зміни п'єзометричного та повного напорів. Однак лише фізичний експеримент не завжди дає повне уявлення про структуру потоку в зонах зміни геометрії