

are proposed to stabilize output power parameters. The results of this work establish a scientific foundation for developing adaptive control systems that integrate mathematical modeling and multi-objective optimization methods to guarantee the stable operation of vehicles under extreme operational regimes.

Keywords: power supply system, electrical machines and apparatus, mathematical modeling, transport, power engineering, power source, electric drive, energy legislation.

Стаття надійшла 23.03.2026р.

Стаття прийнята 25.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.

275 – Транспортні технології

УДК 656.19: 656.084

doi.org/10.31498/2522-9990312026359376

Молоштан Д. В., Загорянський В. Г.

МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ПРИ НАЇЗДІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА ВОДІЯ ЕЛЕКТРОСАМОКАТА

У роботі розглянуто проблему моделювання аварійних ситуацій дорожнього руху за участю легкових автомобілів та водіїв електросамокатів – категорії учасників, правовий статус якої в Україні досі не врегульований. Незважаючи на швидке зростання популярності електросамокатів, нормативна база щодо їх експлуатації залишається неповною, що ускладнює формування правил безпеки та проведення експертних досліджень ДТП. Аналіз статистичних даних показує, що значну частку аварій із залученням електросамокатів становлять наїзди легкових автомобілів. Метою роботи є аналіз діапазону габаритних розмірів і швидко-силових характеристик основних типів електросамокатів, що обумовлені особливостями їх компоновки, та розробка наближеної математичної моделі наїзду легкового автомобіля на водія електросамоката, навести діапазони значень для відомих параметрів моделі та визначити ті, які потребують оцінки. У контексті відсутності спеціалізованих методик експертизи ДТП даного типу запропоновано використовувати моделі, розроблені для наїздів на велосипедистів, як найбільш близькі за кінематичними та конструктивними характеристиками. У роботі проведено огляд сучасних електросамокатів за їх габаритними, конструктивними та швидко-силовими параметрами, що дозволило визначити їх типові діапазони маси, розмірів, потужності, швидкості та ефективності гальмування. Розглянуті особливості основних типів електроприводів, акумуляторів, коліс та гальмівних систем, які істотно впливають на поведінку електросамоката в екстрених ситуаціях. На основі узагальнення відомих залежностей запропоновано наближену математичну модель гальмування електросамоката та умови уникнення зіткнення під час поперечного або поздовжнього наїзду автомобіля. Визначено параметри моделі, які можуть бути отримані за аналогією з даними для велосипедів, а також ті, що потребують експериментальної оцінки. Результати роботи створюють методичне підґрунтя для подальшого розвитку експертних підходів до аналізу ДТП за участю водіїв електросамокатів.

Ключові слова: електросамокати, габаритні розміри, швидко-силові характеристики, легковий автомобіль, дорожньо-транспортні пригоди, наїзд, моделювання.

Постановка проблеми. Дорожній рух на електросамокатах ніяк не регулюється – річ у тому, що в законі такі учасники руху, як водії електросамокатів, не позначені, а тому не мають правового статусу, офіційних правил та обов'язків [1, 2]. Хоча легкий електротранспорт продається в Україні досить давно, набирати популярності він почав лише з початком цього десятиліття. Не маючи можливості вільно пересуватися на громадському транспорті та боячись у ньому заразитися коронавірусом, багато хто перейшов на велосипеди та електросамокати.

Запитань до регулювання руху електросамокатів багато: з якого віку дозволяти на них їздити, якою має бути максимальна швидкість такого транспорту, де дозволити на ньому пересуватися – на дорозі чи тротуарі, чи прирівняти самокати до велосипедів чи мопедів, чи потрібно вводити для них номери тощо. На частину з них має відповісти законопроект №3023 [3], який Верховна Рада ухвалила у першому читанні ще восени 2020 року. Проте чекати на прийняття цього закону найближчим часом не варто [1].

Документ встановлює для водіїв («райдерів») легкого електротранспорту певні правила: забороняє їздити п'яним чи під наркотиками, користуватися телефоном під час руху та перевозити пасажирів, якщо це не передбачено конструкцією транспорту. Також у темряві, у разі туману або поза містом/селом, користувачі повинні закріпити на одязі та транспорті світловідбивні елементи. Документ зобов'язує їздити велодоріжжками, а якщо їх немає – краєм проїжджої частини, вулиці або на узбіччі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз статистики аварійних ситуацій на дорогах України [4, 5] показує, що найпоширенішими видами ДТП є: зіткнення, наїзд на транспортний засіб, що стоїть, наїзд на перешкоду, наїзд на пішохода, з'їзд з проїзної частини з перекиданням транспортного засобу.

Приведена в [6, 7] статистика характеристик пацієнтів і нечастих випадків з участю електросамокатів свідчить, що із загальної кількості зіткнень електросамокатів з іншими транспортними засоби і пішоходами, – близько половини становлять зіткнення з легковими автомобілями.

У вітчизняній літературі з експертизи ДТП [8-11], із зрозумілих причин, відсутня інформація щодо моделювання ДТП за участю водіїв електросамокатів. Відомо, що рух усіх двоколісних транспортних засобів незалежно від конструктивних відмінностей описується рівняннями однакової структури. Тому за основу моделювання пропонується взяти залежності щодо наїзду легкового автомобіля на велосипедиста, як близького за характеристиками випадку.

Мета дослідження Метою роботи є аналіз діапазону габаритних розмірів і швидкісно-силових характеристик основних типів електросамокатів, що обумовлені особливостями їх компоновки, розробка наближеної математичної моделі наїзду легкового автомобіля на водія електросамоката, наведення діапазонів відомих параметрів моделі та визначення тих, що потребують оцінки.

Основний матеріал дослідження. Електросамокати за умовами експлуатації можна поділити на міські та позашляхові [12]. Міські призначені для пересування рівними дорогами, бетоном, асфальтом, плиткою тощо. Як правило, вони не надто потужні, але при цьому компактні, легкі, маневрені. Багато міських самокатів з електроприводом мають механізм складення, а деякі оснащені зручним сидінням. У базову комплектацію входить кілька елементів: бортовий комп'ютер, фара, а іноді – додаткове підсвічування деки. Позашляхові призначені для поїздок нерівними дорогами/бездоріжжям (у лісі, по гравію, бруду тощо). Це відносно важка, досить потужна техніка, оснащена широкими колесами, м'якою підвіскою. Як правило, електросамокати цього типу мають велику дальність ходу завдяки надійному,

енергоємному акумулятору. Позашляховики часто мають таку ж комплектацію, як і у міських моделей.

Електросамокати відрізняються і за іншими характеристиками: типом двигуна, акумулятора, підвіски, потужністю, швидкістю, дальністю ходу, видам, кількості, розміру коліс, вагою, вантажопідйомністю; наявністю механізму складання, сидіння.

В одних моделях самокатів електричний двигун працює за допомогою ланцюгового механізму, а в інших він вбудований безпосередньо в колесо.

Ланцюгові мають підвищену потужність, тому вони можуть розвивати досить велику швидкість, і на них можна перевозити відносно важкі вантажі. Однак варто відзначити, що в цих моделях є кілька недоліків. По-перше, електросамокати з цепним видом двигуна створюють високий рівень шуму під час руху. Це може бути особливо помітно в тихих, спокійних районах. По-друге, конструкція такого двигуна швидше зношується, а для її заміни потрібні спеціальні навички. По-третє, ланцюг збільшує масу всього пристрою.

Електричні самокати з мотор-колесом відрізняються високою потужністю, надійністю, відносною безшумністю.

Один із основних компонентів електросамокату – батарея, яка визначає дальність ходу техніки. Найпоширеніші типи акумулятора: свинцевий – він більше важить, довше заряджається, має невелику енергоємність, зате він відносно недорогий і має добру стійкість до низьких температур (до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$), і літєвий (літій-іонний) – він компактний, легкий і має велику енергоємність, тому з ним можна вирушити в тривалу поїздку. Це надійний тип акумулятора, витримує до 1000 зарядок (близько трьох років роботи). Однак, літєві батареї коштують більше свинцевих і погано переносять холод (на морозі можуть вийти з ладу).

Потужність двигуна впливає на швидкість, прохідність та вантажопідйомність електросамокату. Цей параметр є важливим при виборі дорослого або дитячого виду електросамокату для поїздок в умовах різної складності (по місту/бездоріжжю). Дорослі можуть мати різну потужність залежно від вантажопідйомності: 300 Вт для перевезення ваги до 100 кг, 600 Вт – до 120 кг. Позашляховики, як правило, мають двигуни з потужністю від 600 Вт, і розвивають високу швидкість (до 120 км/год.). Дитячі моделі – для дітей/підлітків (вагою до 50 кг) у більшості мають потужність до 150 Вт. Часто такі самокати мають обмежувачі швидкості та розганяються до 15 км/год.

Електросамокати також розрізняють:

– за видами коліс: литі не сприйнятливі до випадкових проколів (наприклад, при наїзді на камінь чи цвях), не здуваються з часом, але з ними відчувається будь-яка нерівність дороги (бажана додаткова амортизація), пневматичні (надувні) не відрізняються високою міцністю та надійністю, тому що їх досить просто проколоти (незважаючи на це, вони підходять для пересування бездоріжжям, тому що зменшують вібрації при наїзді на ямки, купини та інші дрібні перешкоди);

– за кількістю коліс: двоколісні – універсальні, надійні, легкі, компактні моделі, але вони мають слабку сторону: при пересуванні райдеру доводиться утримувати рівновагу.

– за розміром коліс: великі, широкі колеса (10...14 дюймів) покращують прохідність та забезпечують хорошу амортизацію техніки, але при цьому збільшують її вагу (підходять для пересування бездоріжжям або нерівними дорогами з дрібними перешкодами), колеса меншого розміру (8...10 дюймів) встановлюють на міські моделі – вони менше важать, і з ними краще кататися за рівним дорожнім покриттям (асфальтом, бетоном).

Діапазони габаритних розмірів електросамокатів такі [12].

Довжина $L_{e/c}$, м: 1,1...1,17.

Ширина $B_{e/c}$, м: 0,6...0,8 (ширина керма має бути трохи вужчою або збігатися з шириною плечей райдера), ширина декі (платформи для ніг), м: 0,14...0,2.

Висота (з користувачем) $H_{e/c}$, м: зріст користувача +
+ 0,203...0,254 (міські моделі),
+ 0,254...0,356 (моделі для бездоріжжя).

Висота керма $H_{ke/c}$, м: 0,78...0,85 (залежно від зросту користувача (для зросту 1,60...1,72 м)).

Довжина декі (платформи для ніг) $L_{de/c}$, м: 0,45...0,55 (для дорослих моделей).

Діаметр коліс D_k : 8...10 дюймів (0,203...0,254 м) – міські моделі, 10–14 дюймів (0,254...0,356 м) – моделі для бездоріжжя.

Власна маса електросамоката $m_{e/c}$, кг: близько 13 кг (середні моделі), може збільшуватися до 25...28 кг.

Повна маса електросамоката $M_{e/c}$, кг: близько 63...85 кг (середні моделі), може збільшуватися до 75 (97)...78 (100) кг.

Розглянемо також швидко-силові характеристики електросамокатів.

Вантажопідйомність: більшість моделей витримують вагу до 120 кг, але деякі розраховані на перевезення 260 кг.

Відзначимо, що у спеціалізованих магазинах сьогодні представлений великий вибір електросамокатів різної маси: в залежності від моделі – 5...50 кг. Розрізняють такі види:

- суперлегкі (до 8 кг);
- легкі (8...12 кг);
- середні (12...16 кг);
- важкі (16...35 кг);
- суперважкі (35...50 кг).

На розміри та вагу електросамокатів впливають такі чинники:

– акумулятор. Найчастіше при виробництві електросамокатів використовують літєві та свинцеві джерела живлення. Перший варіант менший за вагою, але при цьому має більшу ємність, тому самокати з акумуляторами літєвими більш затребувані;

– розмір та тип коліс. Що менше колеса, то легше транспорт, але при цьому погіршується керування. Відповідно великі колеса (від 7 дюймів і вище) позитивно впливають на амортизацію та керованість, але при цьому збільшують вагу та розмір самокату. Лита гума лише додасть ваги, проте надувні шини легше проколоти;

– тип двигуна. Мотор-колесо вбудованого типу зручніше, легше та потужніше, але такі моделі дорожчі. Зовнішній мотор, з'єднаний із колесом спеціальним пристроєм, трохи легший, але менш зручний.

У відомій методиці В. О. Іларіонова показники гальмівної динамічності велосипеда (зупинний шлях і час), необхідні для моделювання наїзду на велосипедиста, розраховують відповідно до того, як діє гальмо – на всіх колесах, на передньому або на задньому. За аналогією зупинимося на особливостях гальмівних систем електросамокатів [12].

Типів гальм електросамоката два – механічні та електричні.

Механічні гальмівні системи, які використовують фізичний механізм для уповільнення самоката – це дискові, барабанні та ножні гальма. Механічні гальмівні системи зазвичай набагато потужніші, ніж електричні гальмівні системи.

Електричні гальмівні системи, які включають як суто електронні, так і рекуперативні гальмівні системи, використовують сам двигун для забезпечення гальмування. Ці системи мають перевагу в тому, що не потребують частих модифікацій.

Гальмівні механізми багатьох самокатів будуть поєднанням електричних та механічних. Ми віддаємо перевагу самокатам, які мають щонайменше дві гальмівні системи на випадок, якщо одна з них вийде з ладу з міркувань безпеки.

Електрофрикційна гальмівна система використовує електричний ресурс для припинення руху. При активації ротор мотора починає рухатися в протилежний бік, завдяки чому електросамокат зупиняється. При використанні даної гальмівної системи спостерігається мінімальне зношування гальмівних колодок, а також економічне витрачання заряду акумулятора. Однак, електричне гальмо при використанні залишає досить великий гальмівний шлях, тому часто встановлюється спільно з барабанним або дисковим гальмом на задньому колесі. Ряд моделей електричних самокатів з подібним гальмом мають функцію рекуперації, яка дозволяє збільшити дальність ходу за рахунок перетворення енергії, що накопичується при гальмуванні.

Барабанна гальмівна система є закритою, яка знаходиться у втулці. Колодки розводяться убік, примикають до барабана і рахунок сили тертя колесо електросамоката зупиняється. Барабанні гальма довговічні, вони захищені від зовнішнього впливу, тому працюють безвідмовно будь-якої пори року. Ще однією перевагою є простота установки та налаштування, а також відносно низька вартість. Тим не менш, барабанні гальма мають відчутно більшу вагу, ніж інші системи, а також схильні до перегріву при інтенсивному і тривалому використанні. Якщо між барабаном і колодками буде недостатньо щільний дотик, то ефективність гальмування буде вкрай низькою.

Дискова гальмівна система складається з гальмівного диска та каліпера (він же супорт). Дискові гальма бувають гідравлічні та механічні. Гідравлічне гальмування діє рахунок гальмівної рідини. При натисканні ручки гальма циліндр з поршнем видавлює гальмівну рідину по гідролінії до колодок. Механічний гальмо працює дещо інакше: зусилля передається за допомогою тросиків, які притискають колодки до гальмівного диска.

Перевага дискових гідравлічних гальм полягає у високій ефективності та маленькому гальмівному шляху, вони найкраще підходять для екстреного гальмування в абсолютно будь-яких умовах, але відрізняються дорожнечію при встановленні та складністю ремонту та обслуговування. Механічні дискові гальма хоч і більше зношують колодки, але прості у догляді та експлуатації, а також мають низьку вартість.

Зупинка колеса електросамокату ногою здійснюється за рахунок натискання нею на гальмо-крило, внаслідок чого відбувається притискання до задньої покришки. Чим більше зусилля райдер надає ногою, тим ефективнішим буде гальмування. Звичайно, цю систему встановлюють виключно на міські моделі електросамокатів з невеликою потужністю мотора, тому що на високій швидкості ножний гальмо не допоможе зробити різке гальмування. Переваг у цього виду гальмівної системи небагато, але варто відзначити простоту її встановлення та експлуатації, а також відсутність додаткового навантаження на конструкцію електросамокату – крило на задньому колесі є абсолютно на будь-якій моделі.

Ободні гальма можна встановити як на задньому, так і на передньому колесі. Зупинка електросамоката у разі відбувається рахунок стиснення ободів коліс з допомогою колодок. Існують V-brake та кліщові гальма, які відрізняються кутом тиску на обід та кріпленням. V-brake гальма є більш сучасним та популярнішим варіантом. Поширеність такого типу гальмівної системи полягає в їх невисокій вартості, ефективності гальмування та простоті обслуговування. До недоліків можна віднести: підвищений знос ободів, постійне забруднення ободів та гальмівних колодок.

Таким чином, для електросамоката з гальмом на задньому колесі, зупинний шлях, м, пропонується визначити за залежністю:

$$S_o = v_{elc}T + \frac{v_{elc}^2 (L + \varphi_x h_{elc}) K_{ez} \delta_{об}}{2ga_{elc}\varphi_x}, \quad (1)$$

де v_{elc} – швидкість електросамоката, м/с; T – сума часу реакції водія, часу запізнення гальмівного приводу та половини часу наростання уповільнення, с; φ_x – коефіцієнт

поздовжнього зчеплення шин електросамоката з дорогою; K_{ef} – коефіцієнт ефективності гальмування; $\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування мас, що обертаються; g – прискорення сили тяжіння; $a_{e/c}$ – емпіричний коефіцієнт.

Значення $\delta_{об}$ пропонується визначати за залежністю:

$$\delta_{об} = \frac{1 + (0,03 + 0,05u_k^2)G_{e/c}}{G}, \quad (2)$$

де u_k – передаточне число коробки передач; $G_{e/c}$ – повна вага електросамоката, Н; G – фактична вага електросамоката, Н.

Зупинний час, s , пропонується визначати за залежністю:

$$t_o = T + \frac{v_{e/c} (L + \varphi_x h_{e/c}) K_{ez} \delta_{об}}{g a_\theta \varphi_x}, \quad (3)$$

Час реакції велосипедиста експериментально не визначений і, за аналогією з велосипедистом, пропонується приймати його рівним часом реакції водія автомобіля.

Час спрацьовування гальмівного приводу електросамоката також невідомий, для велосипедів зазвичай вважають рівним 0,2 с.

Коефіцієнт ефективності гальмування гумових шин для сухого асфальтобетону приймають в межах 1,1...1,2. Для покриттів інших типів $K_{ef} = 1$.

Коефіцієнт обліку обертів мас для електросамокатів невідомий. Для велосипедів $\delta_{об}$ приблизно дорівнює 1,05.

Відомо, що максимальне уповільнення велосипеда з гальмом на одному задньому колесі при гальмуванні на сухому асфальтобетоні ($\varphi = 0,8$) $j = 2,7 \text{ м/с}^2$.

Щодо часу наростання уповільнення велосипеда при екстремому гальмуванні також немає надійних експериментальних відомостей. За непрямыми даними можна припустити, що він дорівнює 0,1...0,2 с.

При аналізі наїзду автомобіля на велосипедиста зазвичай враховують лише габаритну довжину велосипеда, нехтуючи його шириною. Момент виникнення небезпечної дорожньої обстановки визначають за тими самими ознаками, що у випадках наїзду автомобіля на пішохода. Експертне дослідження поперечного наїзду автомобіля на велосипедиста проводиться у тій же послідовності, що й дослідження наїзду на пішохода.

Умови можливості зупинки автомобіля та своєчасності гальмування залишаються без зміни. Умова перетину велосипедом смуги руху автомобіля при своєчасному гальмуванні, здійсненому водієм останнього, має такий вигляд:

$$S'_{e/c} > \Delta_y + B_a + L_{e/c} + \Delta_\delta, \quad (4)$$

де $S'_{e/c}$ – шлях рівномірного руху електросамоката у разі екстремого загальмовування автомобіля.

Можливість у користувача електросамоката пропустити автомобіль при екстремому своєчасному гальмуванні залежить від того, чи виконується умова:

$$S'_a > \Delta'_y + B_{e/c} + L_a + \Delta_\delta, \quad (5)$$

де S'_a – шлях рівномірного руху автомобіля у разі екстремого загальмовування електросамоката, м; Δ'_y – інтервал між електросамокатом і межею небезпечної зони, м; $B_{e/c}$ – габаритна ширина електросамоката, м.

Можливість зустрічного запобігти зустрічному або попутному зіткненню автомобіля з електросамокатом пропонується досліджувати за допомогою формул, наведених для випадку зіткнення автомобіля з велосипедом. І в цьому випадку прогнозується, що уникнути зіткнення можна лише шляхом зупинки як автомобіля, так і електросамоката.

ВИСНОВКИ

Правила дорожнього руху щодо водіїв електросамокатів в Україні законодавчо не врегульовані. Приблизно половину випадків аварій з водіями електросамокатів складають зіткнення їх з легковими автомобілями.

На основі аналізу публікацій в мережі Інтернет визначений діапазон габаритних розмірів найбільш розповсюджених моделей електросамокатів.

Визначений діапазон швидко-силових характеристик електросамокатів залежно від їх призначення і компоновки.

На основі наявних моделей наїзду автомобіля на велосипедиста, розроблено, в першому наближенні, математичну модель наїзду легкового автомобіля на водія електросамоката. Значення деяких параметрів, що входять до моделі, мають бути визначені.

Список використаних джерел

1. Аварій з е-самокатами все більше: в чому проблема і як врятуватися від їхньої навали пішоходам. URL: <https://delo.ua/business/na-ukrainskih-trotuarah-vse-bolshe-elektrosamoka-383742/> (дата звернення: 24.11.2025).

2. Кіріченко І. С. Персональний електротранспорт і нюанси ПДР. *Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування*: наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету (Харків, 16-18 вересня 2020 р.). Харків: ХНАДУ, 2020. С. 274–275.

3. Проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів щодо вдосконалення регулювання відносин у сфері забезпечення безпеки окремих категорій учасників дорожнього руху (користувачів персонального легкого електротранспорту, велосипедистів та пішоходів). URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=68074 (дата звернення: 24.11.2025).

4. Статистика. Офіційний сайт патрульної поліції України. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>

5. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Нахімчук А. О. Безпека руху як складова забезпечення ефективного функціонування автомобільного транспорту. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: тези XV міжнародної науково-практичної конференції (Житомир, 24-26 жовтня 2022 року). Житомир: Житомирська політехніка, 2022. С. 51–53.

6. Electric Scooter Accidents: Emerging Legal Challenges in Urban Areas. URL: <https://injuriesarepersonal.com/blog/electric-scooter-accidents-emerging-legal-challenges-in-urban-areas/> (дата звернення: 24.11.2025).

7. Tommaso Scquizzato, Lorenzo Gamberini, Federica Stella, et al. (2022). Analysis of road traffic accidents involving standing electric scooters reported in newspapers in Italy. *Clin. Exp. Emerg. Med.* 2022 Mar 31;9(1):36–40. doi: 10.15441/ceem.21.078

8. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Хорошун Р. В. Авто-технічна експертиза дорожньо-транспортних пригод. Конспект лекцій. Тернопіль: ТНТУ, 2016. 164 с.

9. Туренко А. М., Клименко В. І., Сарасєв О. В., Данець С. В. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП. Підручник для вищих навчальних закладів. Харків: ХНАДУ, 2013. 320 с.

10. Ребедаило В. М., Кашканов В. А. Експертиза дорожньо-транспортних пригод: навч. посіб. Вінниця: Вінниц. нац. техн. ун-т, 2012. 157 с.

11. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Гуменюк І. І. Безпека дорожнього руху: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 90 с.

12. Electric Scooter Parts. URL: https://rapidscooter.co.uk/breakdown-of-an-electric-scooter-uk-2022?srsId=AfmBOopofolAo9yZGtZvS5JDz5bDI9XM60Rd0ucjdnQKDvs_88RT4vr9 (дата звернення: 24.11.2025).

Moloshtan D. V., Zahorianskyi V.G.

MODELING OF TRAFFIC EMERGENCY SITUATIONS IN THE CASE OF A CAR RIDING ON AN ELECTRIC SCOOTER DRIVER

The paper considers the problem of modeling traffic emergency situations involving cars and electric scooter drivers – a category of participants whose legal status in Ukraine is still not regulated. Despite the rapid growth in the popularity of electric scooters, the regulatory framework for their operation remains incomplete, which complicates the formation of safety rules and expert studies of road accidents. Analysis of statistical data shows that a significant proportion of accidents involving electric scooters are collisions with cars. The purpose of the work is to analyze the range of overall dimensions and speed-power characteristics of the main types of electric scooters, which are due to the peculiarities of their layout, and to develop an approximate mathematical model of a passenger car crash into an electric scooter driver, to list the ranges of values for known model parameters and to determine those that require evaluation.

In the context of the lack of specialized methods for the examination of road accidents of this type, it is proposed to use models developed for crashes into cyclists, as the closest in terms of kinematic and design characteristics.

The work reviews modern electric scooters by their overall, design and speed-power parameters, which allowed us to determine their typical ranges of mass, size, power, speed and braking efficiency. The features of the main types of electric drives, batteries, wheels and brake systems, which significantly affect the behavior of an electric scooter in emergency situations, are considered. Based on the generalization of known dependencies, an approximate mathematical model of electric scooter braking and collision avoidance conditions during a transverse or longitudinal collision of a car is proposed. The model parameters that can be obtained by analogy with data for bicycles, as well as those that require experimental evaluation, are determined. The results of the work create a methodological basis for the further development of expert approaches to the analysis of road accidents involving electric scooter drivers.

Keywords: *electric scooters, overall dimensions, speed-force characteristics, passenger car, road accidents, collision, modeling.*

Стаття надійшла 23.03.2026р.

Стаття прийнята 25.03.2026р.

Стаття опублікована 30.04.2026р.