



Функція якості моделі зіткнення автомобілів у програмі *PC-Crash*

Євгеній Бульбака

старший науковий співробітник, Одеський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України, м. Одеса, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9954-179X>, e-mail: eugene.bulbaka@gmail.com

Розглянуто принципи визначення функції якості комп'ютерної моделі зіткнення транспортних засобів у програмі PC-Crash.

Ключові слова: ДТП; зіткнення; комп'ютерна модель; PC-Crash; функція якості.

Quality Function of the Traffic Collision Simulation in PC-Crash Software

Eugene Bulbaka

The report deals with the principles of determination of the quality function of the computer simulation of the vehicles collision in PC-Crash software.

Keywords: traffic collision; computer simulation; PC-Crash; quality function.

Комп'ютерне моделювання зіткнення в програмі *PC-Crash* [1, 2] передбачає етап визначення вхідних даних; підготовчий етап (відтворення вхідних даних у комп'ютерному середовищі); сутнісний (основний) етап власне моделювання до досягнення мети — отримання оптимальної комп'ютерної моделі зіткнення.

На підготовчому етапі здійснюють відтворення визначених вхідних параметрів у комп'ютерному середовищі програмного комплексу: вибирають транспортні засоби; відтворюють параметри середовища (коефіцієнт зчеплення тощо); відтворюють сцену: розташування транспорту на місцевості в кінцевих позиціях після ДТП, наявні траєкторні сліди (гальмування, ковзання, зсув тощо), інші важливі сліди (продукти зіткнення тощо); оформлюють важливі супутні елементи сцени (проїзна частина, її геометрія тощо); відтворюють позицію-

вання транспортних засобів у момент зіткнення.

На основному етапі моделювання руху, позиціювання, зіткнення транспортних засобів базовими варіативними параметрами є:

- передконтактні швидкості транспортних засобів (швидкості в момент зіткнення);
- передконтактні напрямки транспортних засобів (напрямок поступального руху, орієнтація, кут рискання, напрямки обертального руху за наявності);
- контактне позиціювання транспортних засобів на місцевості за довжиною й шириною дороги (х-у-координати центрів мас у момент зіткнення);
- позиціювання точки зіткнення (точки імпульсу) на місцевості, (х-у-координати точки імпульсу за довжиною й шириною дороги);



- позиціювання точки зіткнення за висотою (z-координата);
- орієнтація контактної площини (кут контактної площини);
- контактне тертя (коефіцієнт тертя між транспортними засобами в контактній площині);
- коефіцієнт реституції (відновлення).

Основним цільовим параметром моделювання зазвичай є перед-контактна швидкість транспортних засобів, яка на початку може бути задана в дуже широкому надлишковому початковому діапазоні (від 0 до 300 км/год).

З обранням швидкості та інших початкових параметрів власне здійснюється моделювання, під час якого в межах реалізованих алгоритмів програмного комплексу в динамічному режимі обчислюють і відтворюють рух транспорту в момент зіткнення (зіткнень) і до зупину в кінцевих позиціях з отриманням розрахункових параметрів на кожному кроці інтегрування, а отримані дані в кожній ітерації комп'ютерної моделі оцінюють на предмет відповідності контрольним параметрам (об'єктивним даним), зокрема:

- розрахункова поведінка транспортних засобів під час зіткнення (з детектуванням і моделюванням вторинних зіткнень тощо) має бути природною та відповідати об'єктивним даним (фактичним ушкодженням транспортних засобів під час зіткнення);
- розрахункові траєкторії руху транспортних засобів у кінцеві позиції (з відтворенням імо-

вірних обчислених слідів руху) мають бути природними й відтворювати фактичні траєкторні сліди руху транспортних засобів, залишені на місці події (за наявності);

- розрахункові розташування автомобілів у кінцевих позиціях мають відтворювати фактичні кінцеві положення транспортних засобів, що зафіксовані на місці події (за координатами розташування й орієнтацією на місцевості);
- розрахункова енергія деформацій транспортних засобів під час зіткнення (з детектуванням глибини деформацій, обчисленням енергії, її еквівалента в чисельному поданні) має відповідати об'єктивним даним (обсягу фактичних ушкоджень на транспортних засобах).

Енергію деформацій оцінюють за стандартним параметром *EES* (*Energy Equivalent Speed*; енергоеквівалентна швидкість, що є мірою енергії, поданою в одиницях швидкості) і вона є одним із центральних контрольних параметрів.

Під час моделювання в межах кожної ітерації за результатами оцінювання отриманих розрахункових параметрів у разі необхідності в ручному або автоматизованому режимі (оптимізатора зіткнення) здійснюється послідовне корегування даних (насамперед базового варіативного параметра — швидкості транспортних засобів) з метою наближення розрахункових величин до контрольних параметрів на наступній ітерації.



Цикл обчислення, оцінювання, коригування виконується в довільній (необмеженій) кількості ітерацій, доки не буде досягнута мета моделювання — оптимальна комп'ютерна модель зіткнення, достатньо відповідна фактичним даним (контрольним параметрам).

Інтегральною мірою оцінки комп'ютерної моделі зіткнення на відповідність фактичним даним у кількісному поданні загалом є функція якості (сумарна зважена похибка) [3—6], що визначають за такими принципами:

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_i^n (w_i \cdot q_i)^2}{\sum_i^n w_i^2}}, \text{ де}$$

Q — функція якості (у відсотковому поданні);

w_i — значущість (ваговий чинник) поточного параметра (від 0 до 100 %);

q_i — індивідуальний показник якості (відносна похибка) обчислення кожного окремого поточного параметра, що визначають залежно від категорії за такими принципами (на прикладах):

$$q_{pos-rest_i} = \frac{|p_{rest-act_i} - p_{rest-sim_i}|}{|p_{rest-act_i} - p_{impact-act_i}|}$$

$$q_{dir-rest_i} = \frac{\arccos(\bar{d}_{rest-act_i} \cdot \bar{d}_{rest-sim_i})}{\pi}$$

$$q_{EES_i} = \frac{EES_{act_i} - EES_{sim_i}}{EES_{act_i}}, \text{ де}$$

pos, dir, EES — позначення категорії параметрів: позиційний (*positional*), напрямний (*directional*) або енергетичний (*EES*) відповідно;

$rest, inter, impact$ — позначення просторово-часової характеристики параметрів щодо кінцевих (*rest positions*), проміжних (*intermediate positions*) позицій транспорту або моменту зіткнення (*impact*) відповідно; act, sim — позначення фактичних (*actual*) параметрів, або розрахункових, отриманих у моделі зіткнення (*simulation*) відповідно;

$q_{pos-stop_i}$ — приклад визначення показника якості позиційного параметра за координатами (p) транспортного засобу (за центром мас) фактичними і модельними в кінцевій позиції та фактичними в момент зіткнення;

$q_{dir-stop_i}$ — приклад визначення показника якості напрямного параметра за напрямом ($\bar{d}$) транспортного засобу фактичним і модельним у кінцевій позиції;

q_{EES_i} — приклад визначення показника якості енергетичного параметра за енергоеквівалентною швидкістю (*EES*), що характеризує ушкодження транспортного засобу фактичне й модельне.

Цільове призначення функції полягає в отриманні оптимальної комп'ютерної моделі зіткнення з мінімальною сумарною зваженою похибкою шляхом варіації сукупності вхідних параметрів за рахунок зменшення індивідуального відносного відхилення фактичних та модельних величин для кожного окремого параметра (що водночас є компонентами моделі загалом і обчислення функції якості зокрема): передконтактних швидкостей і напрямків; (координат) позиціювання автомобілів у момент зіткнення за довжиною й шириною



дороги; позиціювання точки імпульсу за довжиною й шириною дороги і за висотою; орієнтації контактної площини; контактного тертя; коефіцієнта реституції; *EES*.

Функцію якості автоматично обчислюють у програмному комплексі в кожній ітерації моделювання за застосування оптимізатора зіткнення (за необхідності обчислення також можна виконати вручну).

Функція якості на рівні 10 % є уставною величиною в програмі; її мінімізація з наближенням до зазначеної величини в загальному випадку свідчить про позитивний напрям оптимізації, перспективність подальшого вдосконалення, може визначати модель як загалом технічно прийнятну в першому наближенні.

Функція якості на рівні 3—5 % і менше свідчить про високу релевантність комп'ютерної моделі зіткнення.

Перелік джерел посилання

1. Бульбака Є. Методика експертного дослідження окремих типових завдань з реконструкції обставин ДТП з використанням сучасного спеціального комп'ютерного програмного забезпечення [e-book: pdf]. Одеса, 2022.
2. Експертне дослідження окремих типових завдань з реконструкції обставин ДТП з використанням сучасного спеціального комп'ютерного програмного забезпечення. 2023. Реєстр. код 10.1.20.
3. Moser A., Steffan H. Automatic Optimization of Pre-Impact Parameters Using Post-Impact Trajectories and Rest Positions. 1998.
4. Wach W., Moser A. Simulation of Vehicle Accidents using PC-Crash. Linz, Austria, 2012.
5. Rose N. A., Carter N. An Analytical Review and Extension of Two Decades of Research Related to PC-Crash Simulation Software. *SAE Technical Papers*. Apr. 2018. DOI: 10.4271/2018-01-0523 (дата звернення: 13.09.2025).
6. PC-CRASH. A Simulation Program for Vehicle Accidents. [Operating and Technical Manual. Version 12.1. April 4, 2020]. Linz, Austria, 2020.