

УДК 004.942; 629.113; 629.3.017.5  
UDC 004.942; 629.113; 629.3.017.5

Лотиш В.В., Гуменюк П.О., Демків В.О.  
*Луцький національний технічний університет*

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ ЗІТКНЕННЯ АВТОМОБІЛЯ З ПІШОХОДОМ

Розроблено імітаційну модель, яка дозволяє проводити статистичні дослідження ймовірності зіткнення пішохода з транспортним засобом. В моделі реалізовано два варіанти водіння – традиційне керування водієм та керування водієм з використанням системи запобігання зіткнення. Отримані статистичні дані якісно вірно відображають статистику зіткнення. Застосування даної імітаційної моделі дозволить провести порівняльний аналіз, виявити причини ДТП та напрацювати відповідні організаційні, кадрові, технічні та інші заходи з метою зниження рівня аварійності.

**Ключові слова:** імітаційна модель, зіткнення, керування транспортним засобом, система запобігання зіткнення.

**Постановка проблеми.** Розвиток економіки держави неможливий без використання транспортних засобів. На 2017 р. загальна їх кількість в Україні досягла 3 млн. одиниць. Зростаюча інтенсивність експлуатації автотранспортних засобів і суттєве зростання їх кількості супроводжується дедалі більшим масштабом негативних наслідків. Постійно виникають дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), що супроводжуються травмуванням та загибеллю людей, значними матеріальними втратами [1].

За даними Управління безпеки дорожнього руху Національної поліції України, в 2016 році в країні сталося понад 154 тис. аварій. Це на 11,6% більше, ніж в 2015 році. В середньому за добу по всій країні траплялося по 11 аварій, в яких гинули 9 осіб і отримували травми 88. Всього в 2016 році в ДТП загинули понад 3 тис. осіб, було поранено понад 32 тис.

Загалом кількість дорожньо-транспортних пригод в Україні у першій половині 2017 року зросла на 6,1% порівняно з аналогічним періодом 2016-го – до 76,6 тисяч [2].

Недисциплінованість пішоходів - ще одна причина багатьох аварій. В Україні саме через безтурботність пішоходів відбувається кожне третє ДТП (перехід дороги в недозволеному місці, несподіваний вихід на проїжджу частину і т.д.).

Дану проблему вирішують організаційними, експлуатаційними і конструктивними методами. Серед конструктивних методів найбільш ефективними є методи підвищення активної безпеки - властивості транспортного засобу, що дозволяє водієві запобігати ДТП [3-6].

Метою роботи є імітаційне моделювання руху автомобіля та руху пішохода і визначення ймовірності зіткнення автомобіля з пішоходом при двох способах керування транспортним засобом: традиційному управлінні водієм і з використанням водієм системи запобігання зіткнення [7-10].

Для розробки імітаційної моделі за основу прийнята програма моделювання зіткнення автомобіля з пішоходом. В програмі передбачено два режими роботи – рух автомобіля під керуванням водія та рух автомобіля з використанням системи запобігання зіткнення з пішоходом. Залежно від обраного режиму змінюється час реакції транспортного засобу (ТЗ) на появу пішохода в небезпечній зоні. Отримана програма доповнена блоком для проведення ряду статистичних випробувань. Для цього в модифікованій версії додано можливість завдання максимальної кількості експериментів. Також задається мінімальна та максимальна швидкість руху автомобіля. При проведенні експериментів швидкість автомобіля генерується від мінімального до максимального значення згідно з законом рівномірного розподілу для кожного експерименту окремо.

Для моделювання ширини автомобіля створена база даних Road.db з таблицею Car, в якій представлені найпопулярніші класи легкових та вантажних автомобілів [11].

Для моделювання швидкості пішохода в базі даних Road.db використовується таблиця Movement, де представлені дані швидкостей пішоходів для різних вікових, статевих категорій та різних типів руху (звичайний крок, швидкий крок, біг) [12].

Також в моделі передбачено випадковий вибір коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою. Даний коефіцієнт знаходиться в межах 0.8 для дороги з сухим асфальтованим покриттям, в межах 0.2 – для доріг з трамбованим снігом. Використовуючи даний коефіцієнт, задаються різні типи доріг та погодні умови.

В моделі передбачено зміну віддалі від автомобіля до пішоходу в певних заданих межах. Конкретне значення віддалі вибирається випадковим чином від мінімального заданого значення до максимального згідно з законом рівномірного розподілу.

Результати моделювання записуються в базу даних stat.db, а саме, в таблицю Result. Після кожного моделювання, якщо кількість експериментів не досягла максимальної заданої величини, в таблицю записується вік та стать пішоходу, швидкість автомобіля, швидкість пішоходу, ширину автомобіля та лічильник зіткнень.

Екранна зона форми програми імітаційної моделі системи запобігання зіткнення автомобіля з пішоходом при роботі з базами даних Road.db та stat.db показана на рис.1.

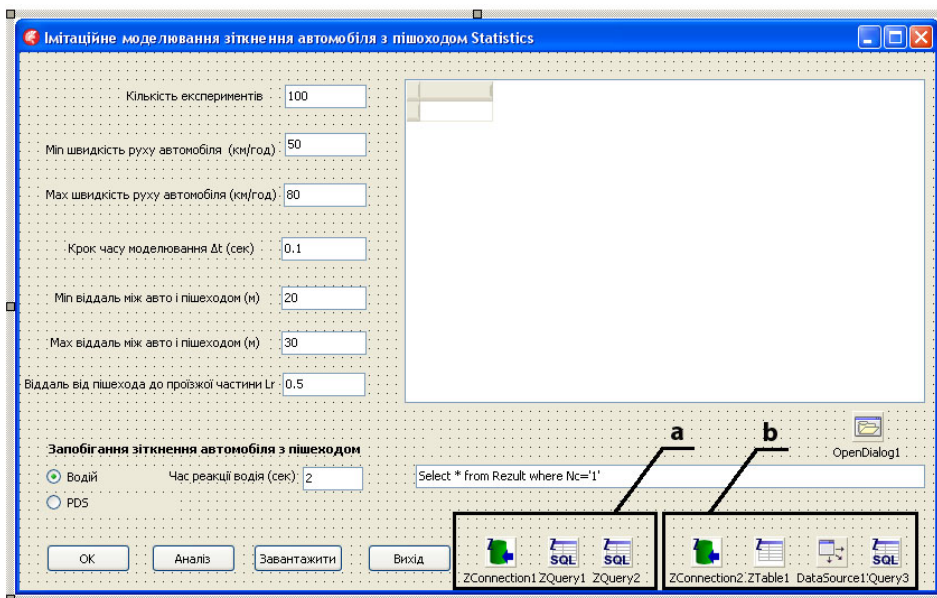


Рис.1. Екранна зона форми програми імітаційної моделі системи запобігання зіткнення автомобіля з пішоходом:

а) компоненти для роботи з базою Road.db; б) компоненти для роботи з базою stat.db.

Після завершення моделювання статистичні дані отримуються з результуючої таблиці Result з використанням SQL запитів (рис. 2).

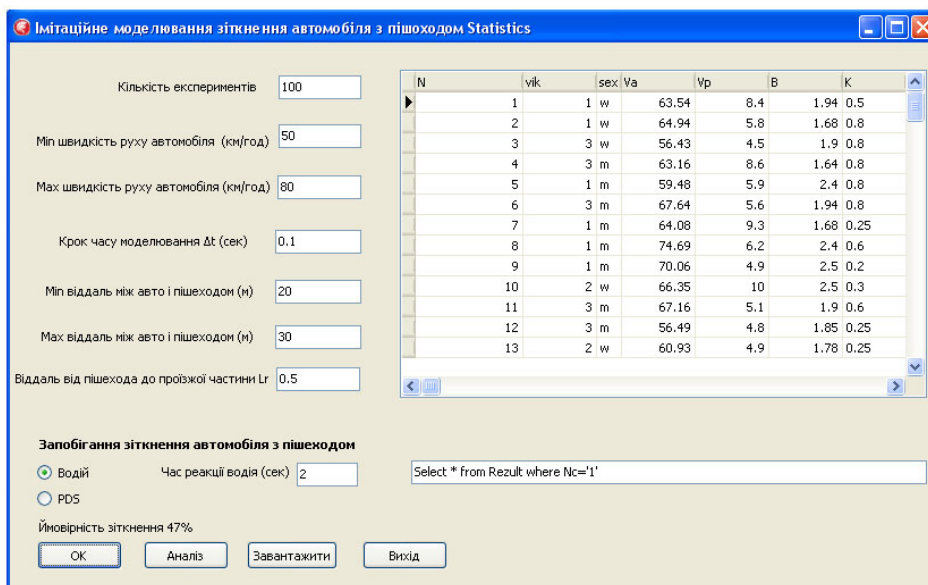


Рис.2. Вигляд програми імітаційної моделі системи запобігання зіткнення автомобіля з пішоходом.

**Результати досліджень.** Провівши  $n_{max}=1000$  експериментів з отриманою моделлю при різних швидкостях автомобіля  $V$  та пішохода  $V_p$  отримано максимальне значення ймовірності  $p_0=0.12$  та,

задавшись ймовірністю помилки  $\varepsilon=0.05$  та надійністю довірчого інтервалу  $Q=0.95$  [10], розраховано необхідну кількість експериментів  $N=16227$ .

Для отримання результату з заданими  $\varepsilon$  та  $Q$  проводимо основне моделювання з  $n_{\max} = N$ .

Моделювання виконували для інтервалу швидкостей автомобіля 30-40 км/год; 40-50 км/год; 50-60 км/год; 60-70 км/год; 70-80 км/год; при віддалі від автомобіля до пішохода в межах 15-20м; при часу реакції водія 1.5 сек. Результати моделювання приведено у таблиці 1 та на графіках рис. 3.

Таблиця 1 - Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля

км/год	Звичайне водіння (ймовірність %)	Система запобігання зіткнення (ймовірність %)
30-40	40.2	20.0
40-50	44.8	43.3
50-60	63.2	63.8
60-70	76.7	76.9
70-80	81.2	80.9

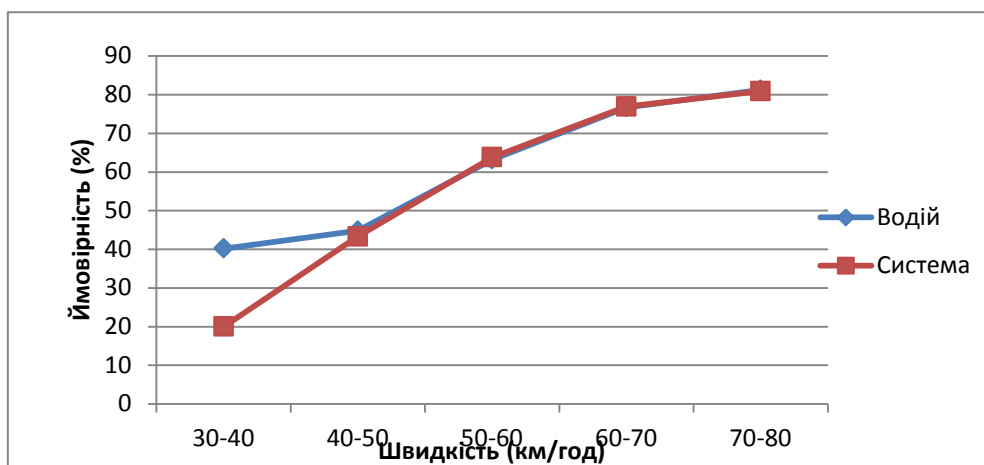


Рис 3. Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля (км/год).

На наступному етапі моделювання виконувалось дослідження залежності ймовірності зіткнення з автомобілем від статі пішохода. Окремо були проведені експерименти для моделювання зіткнення з автомобілем, що рухається з різною швидкістю чоловіків та жінок.

Використовуючи SQL запити до таблиці з результатами Result отримана залежність ймовірності зіткнення від статі пішохода. Результати моделювання представлені у таблиці 2 та на рис. 4.

Таблиця 2 - Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля та статі пішохода

км/год	Звичайне водіння (ймовірність %)		Система запобігання зіткнення (ймовірність %)	
	чоловіки	жінки	чоловіки	жінки
30-40	19.8	20.4	8.9	11.2
40-50	20.5	24.3	20.5	22.8
50-60	32.8	30.3	29.9	33.9
60-70	39.2	37.7	37.7	39.24
70-80	41.2	40.0	39.8	41.9

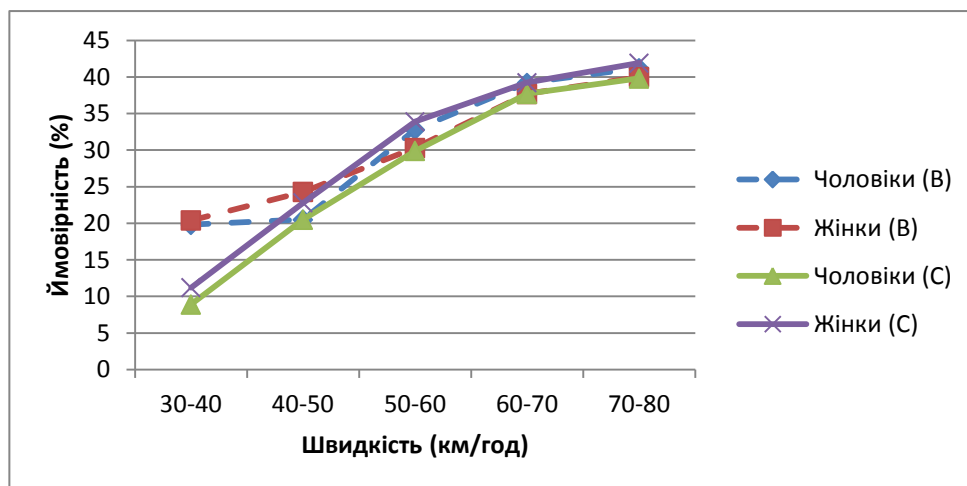


Рис 4. Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля (км/год) та статі пішохода.

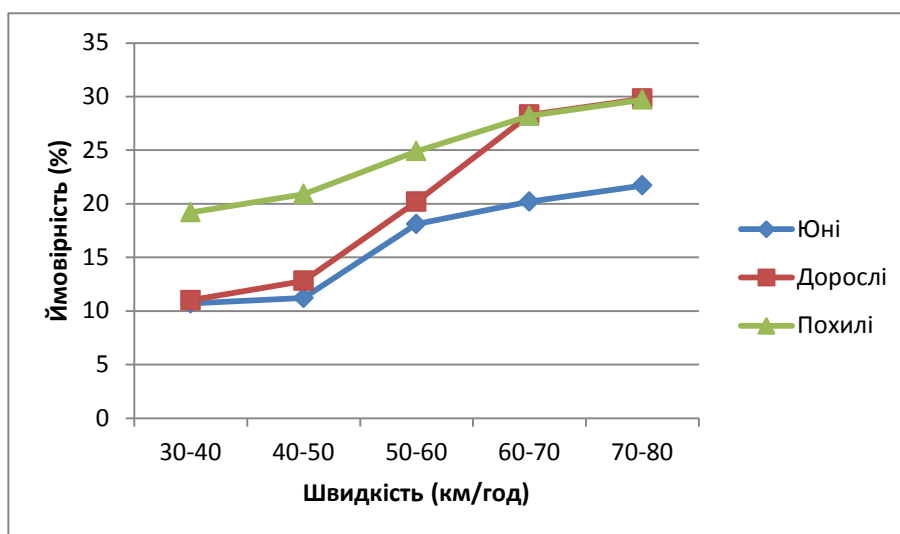
Поведінка пішохода на дорозі, зокрема, перехід дороги в недозволеному місці, несподіваний вихід на проїжджу частину і т.д., дуже залежить від віку пішохода. Тому було проведено дослідження залежності ймовірності зіткнення з автомобілем від віку пішохода. Вік було розбито на три категорії: юні, дорослі та похилі, а кожна категорія включала, в свою чергу, ряд вікових груп.

Категорія юні включає в себе наступні вікові групи: 7-8 років; 8-10 років; 10-12 років; 12-15 років. Категорія дорослі включає в себе наступні вікові групи: 15-20 років; 20-30 років; 30-40 років; 40-50 років. Категорія похилі включає в себе наступні вікові групи: 50-60 років; 60-70 років; 70-80 років.

Отримана наступна залежність ймовірності зіткнення з автомобілем, що рухається з різною швидкістю від віку пішохода, яка представлена у таблиці 3 та на рис. 5.

Таблиця 3 - Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля та віку пішохода

км/год	Звичайне водіння			Система запобігання зіткнення		
	юні	дорослі	похилі	юні	дорослі	похилі
30-40	10.7	11.0	19.2	4.1	3.4	12.5
40-50	11.2	12.8	20.9	11.6	14.8	16.9
50-60	18.1	20.2	24.9	16.6	21.4	25.8
60-70	20.2	28.3	28.2	20.45	27.4	29.1
70-80	21.7	29.8	29.7	20.9	30.0	29.9



а)

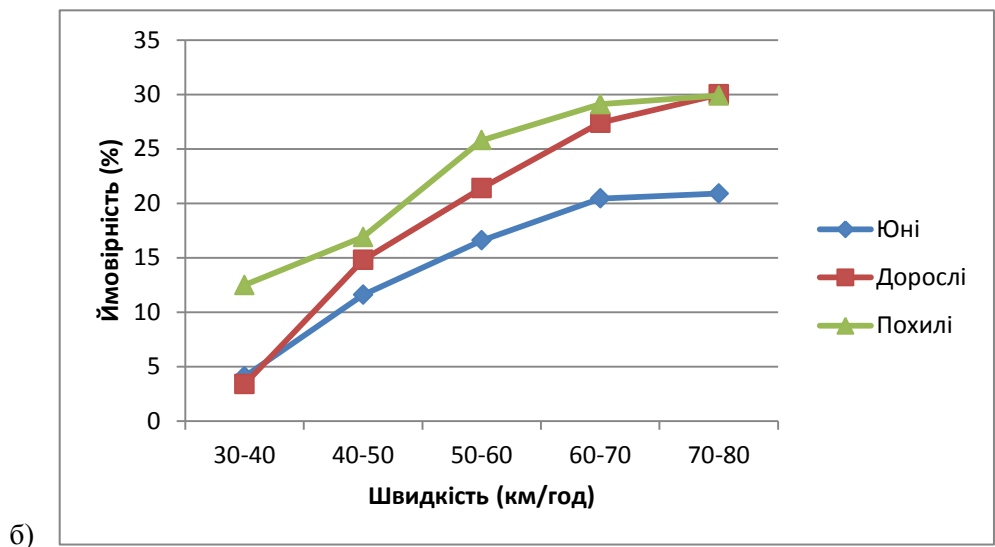


Рис 5. Залежність ймовірності зіткнення (%) від швидкості автомобіля (км/год) та від віку пішохода:

а)- керування водієм; б) - система запобігання зіткненню

Також отримано залежність ймовірності зіткнення транспортного засобу з пішоходом від типу транспортного засобу (легковий або вантажний автомобіль) – див табл. 4. та рис.6.

Таблиця 4 - Залежність ймовірності зіткнення (%) від типу транспортного засобу

км/год	Звичайне водіння		Система запобігання зіткнення	
	легковий	вантажний	легковий	вантажний
30-40	18.5	21.7	6.5	13.5
40-50	19.7	25.1	22.1	21.2
50-60	32.1	31.1	32.9	30.9
60-70	41.3	35.4	42.5	34.4
70-80	45.5	35.7	44.7	36.2

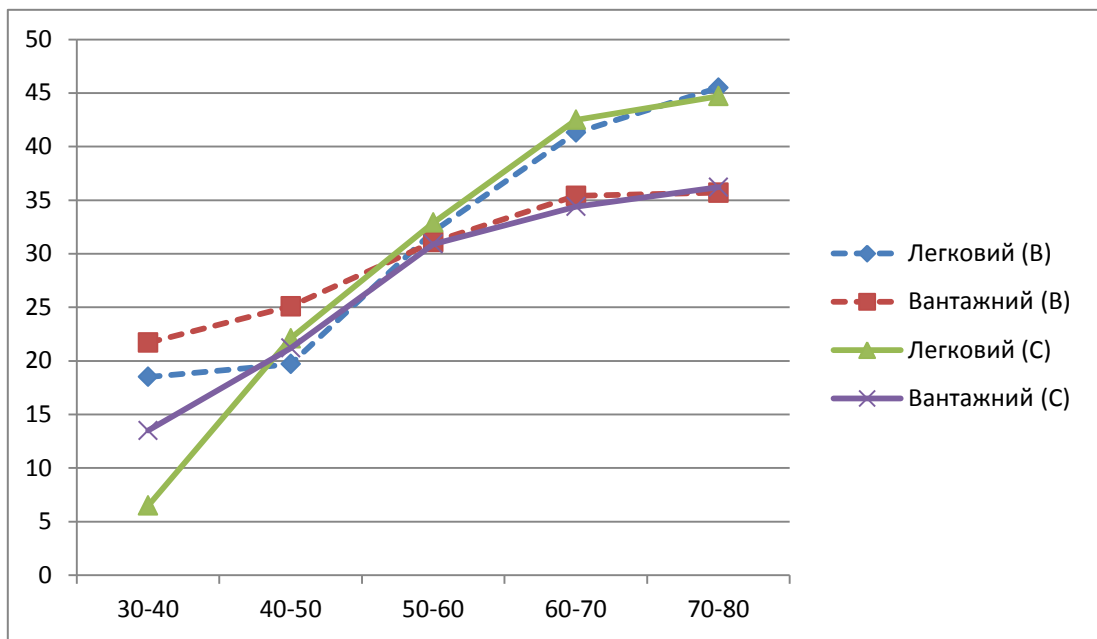


Рис 6. Залежність ймовірності зіткнення від типу автомобіля В- водій, С – система запобігання зіткнення.

Як відомо [6], час гальмування автомобіля, а отже, ймовірність зіткнення з пішоходом, залежить від погодних умов.

Підставляючи у модель значення коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою, отримуємо залежність ймовірності зіткнення від погодних умов (табл.5, рис.7).

Таблиця 5 - Залежність ймовірності зіткнення (%) від погодних умов

км/год	Звичайне водіння			Система запобігання зіткнення		
	Сухий асфальт	Мокрий асфальт	Сніг	Сухий асфальт	Мокрий асфальт	Сніг
30-40	1.5	1.5	1.6	3.4	3.3	3.3
40-50	7.3	7.7	7.8	10.4	10.7	10.6
50-60	10.7	10.8	11.9	11.0	11.0	10.0
60-70	12.3	13.0	13.5	13.2	12.8	13.9
70-80	13.6	13.9	14.0	14.0	13.5	13.9

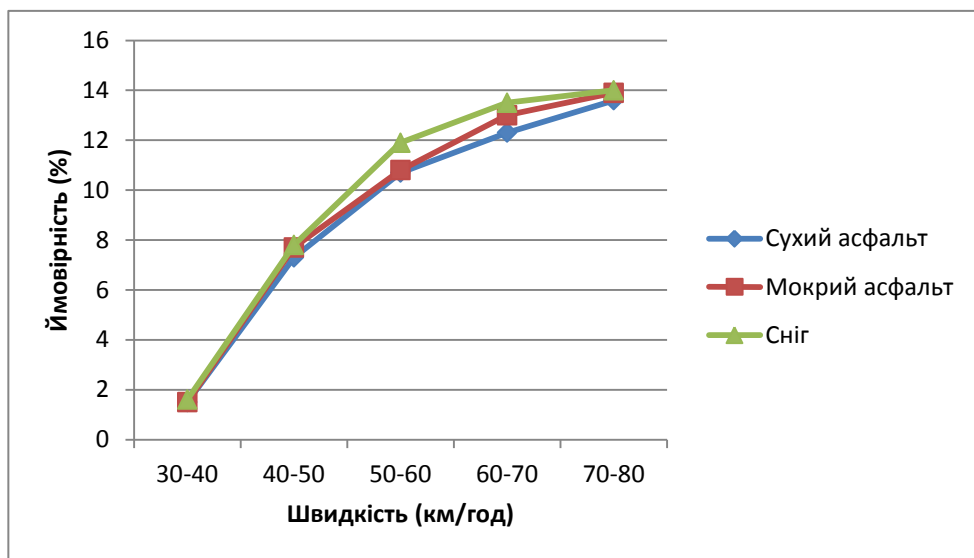


Рис. 7. Залежність ймовірності зіткнення від погодних умов при керуванні ТЗ водієм.

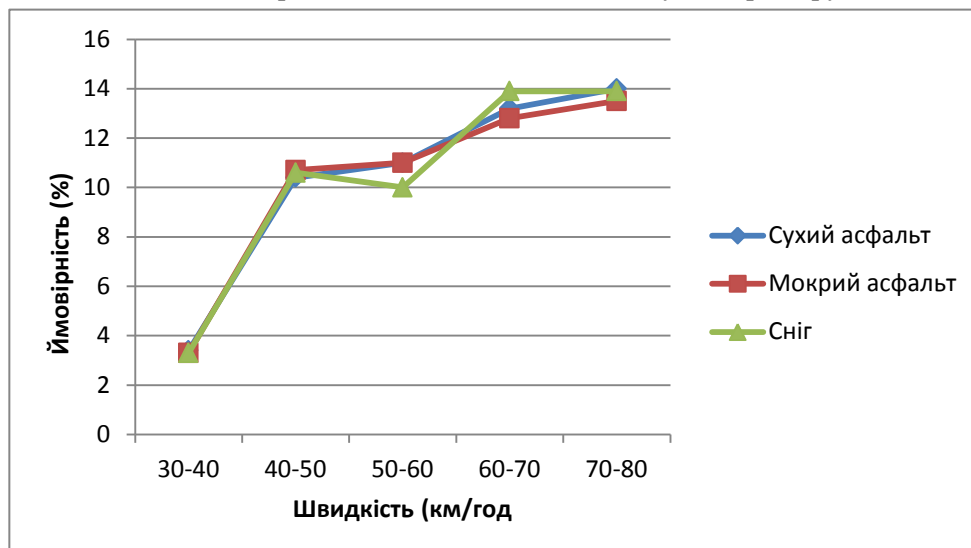


Рис. 8. Залежність ймовірності зіткнення від погодних умов при керуванні ТЗ водієм з використання системи запобігання зіткнення.

**Висновки.** Отримана імітаційна модель дозволяє проводити статистичні дослідження ймовірності зіткнення пішохода з транспортним засобом. В моделі реалізовано для варіанти водіння – традиційне керування водієм та керування водієм з використанням системи запобігання зіткнення. Отримані статистичні дані якісно вірно відображають статистику зіткнення. Застосування даної



імітаційної моделі дозволить провести порівняльний аналіз, виявити причини ДТП та напрацювати відповідні організаційні, кадрові, технічні та інші заходи з метою зниження рівня аварійності.

1. В Украине за 1,5 года на дорогах погибло больше людей, чем в АТО [Електрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://inforesist.org/v-ukraine-za-1-5-goda-na-dorogah-pogiblo-bolshe-lyudey-chem-v-ato/>
2. Статистика аварійності в Україні за 12 місяців 2016 року [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> (дата звернення: 05.06.2017)
3. Казаков А. Быстрый алгоритм обнаружения пешеходов по видеоданным / А. Казаков, А. Бовырин // Proceedings of the 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision. – 2012. – С. 144-148.
4. Дубонос К.В. Расчет механизма наезда на пешехода при ограниченной обзорности в режиме торможения автомобиля. Криміналістичний вісник: наук.-практ. зб. / Дубонос К.В., Клименко В.И., Решетников Е.Б., Сараев А.В. // ДНДЕКЦ МВС України; КНУВС – К.: Вид. Дім «Ін Юре», 2007. – №1(7). – 180 с
5. Сараев О.В. Анализ возможности uniknuti naїzdu na пішохода шляхом своєчасного гальмування / О.В. Сараев // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – 2013.–Вып. 33. – С. 99–104.
6. Уточнення нормативного часу реакції водія при експертних розрахунках / О. В. Антонюк, П. Г. Борщевський, В. Д. Гардерман // Криміналістика і судебна експертиза. - 2013. - Вып. 58(2). - С. 396-402.
7. Шеннон, Р. Імітаційне моделювання систем - мистецтво і наука / Р. Шеннон; пров. з англ. під ред. Е. К. Масловського. - М.: Мир, 1978. - 418 с.
8. Nance R. E. (1996). A history of discrete event simulation programming languages. Bergin Jr T. J. & Gibson Jr. R. G., eds. in History of Programming Languages - II, 369-427. American Association of Computing Machinery: New York.
9. Kiviat, Philip J. "Digital computer Simulation. Modeling Concepts" The RAND-Corp. RM-5378\_PR, Aug. 1967.
10. Варнавский А. Н. Чекан Н. В. Имитационное моделирование столкновения автомобиля с пешеходом при различных способах управления автомобилем //Автоматизация в промышленности. — 2012, № 7. — С. 29–33.
11. Класи автомобілів [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://kermo.org/klasy-avtomobiliv/>
12. Туренко А. Н., Клименко В. И., Сараев А. В. Автотехническая экспертиза: Учебное пособие. - Харьков: ХНАДУ, 2007. - 156 с.

#### REFERENCES

1. V Ukraine za 1,5 goda na dorogah pogiblo bol'she ljudej, chem v ATO [In Ukraine, for 1.5 years on the road killed more people than in the ATU]. *Site InfoResist*. <https://inforesist.org/> Retrieved from <https://inforesist.org/v-ukraine-za-1-5-goda-na-dorogah-pogiblo-bolshe-lyudey-chem-v-ato/>
2. Statystyka avariynosti v Ukrai'ni za 12 misjaciiv 2016 roku [Accident Statistics in Ukraine for 12 months in 2016 ]. *Sajt Upravlinnja bezpeky dorozhn'ogo ruhu [Site "Traffic Safety Management"]*. <http://www.sai.gov.ua/ua/> Retrieved from <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> (date of treatment 05.06.2017)
3. Kazakov A. & Bovyryn A. (2012) Bystryj algoritm obnaruzhenija peshehodov po videodannym [Fast algorithm for detecting pedestrians on video data]. *Proceedings of the 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision*. pp.144-148 [in Russian].
4. Dubonos K.V., Klimentko V.I., Reshetnikov E.B. & Saraev A.V. (2007). Raschet mehanizma naezda na peshehoda pri ogranichennoj obzornosti v rezhime tormozhenija avtomobilja [Calculation of the mechanism of collision on the pedestrian with limited visibility in the braking mode of the car]. *Kryminalistychnyj visnyk – Forensic messenger. DNDEKTS of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 1(7)*. Kyiv: «In Jure» [in Russian].
5. Saraev O.V. (2013). Analiz mozhyvosti unyknuty naїzdu na pishohoda shljahom svojechasnogo gal'muvannja [Analysis of the possibility of avoiding riding on a pedestrian by timely braking]. *Avtomobil'nyj transport – Automobile transport*. Issue 33. Kyiv, pp. 99-104 [in Ukrainian].
6. Antonyuk O.V., Barshchevsky P.G. & Gardermann V.D. (2013). Utochnennja normatyvnogo chasu reakcii' vodija pry ekspertnyh rozrahunkah. [Clarification of the normative response time of the driver in expert calculations]. *Kryminalistika i sudebnaja jekspertiza – Forensic science and forensic examination*. Issue 58(2). pp.396-402 [in Ukrainian].
7. Shannon R. (1978). Imitacijne modeljuvannja system - mystectvo i nauka [Simulation systems - art and science]. (Maslovsky E.K. Trans). Moskow: Mir [in Ukrainian].
8. Nance R. E. (1996). A history of discrete event simulation programming languages. Bergin Jr T. J. & Gibson Jr. R. G., eds. in History of Program., ming Languages - II, 369-427. American Association of Computing Machinery: New York.
9. Kiviat, Philip J. "Digital computer Simulation. Modeling Concepts" The RAND-Corp. RM-5378\_PR, Aug. 1967.
10. Varnavsky A. N. & Chekan N. V. (2012). Imitacionnoe modelirovanie stolknovenija avtomobilja s peshehodom pri razlichnyh sposobah upravlenija avtomobilem [Simulation modeling of collision of the car with the pedestrian at various ways of management by the car]. *Avtomatizacija v promyshlennosti – Automation in the industry*, 7. pp. 29–33 [in Russian].
11. Klasy avtomobiliv [Car classes]. *Ukrai'ns'kyj avtomobil'nyj portal "Kermo – Vse pro usi avto" [Ukrainian automobile portal "Kermo - All about all cars"]*. Retrieved from <http://kermo.org/klasy-avtomobiliv/> [in Ukrainian].
12. Turenko A. N., Klimentko V. I. & Saraev A. V. (2007). Avtotehnicheskaja ekspertiza [Automotive Expertise]. Kharkov: HNADU [in Russian].

*Лотыш В.В., Гуменюк П.А., Демкив В.О.* Имитационное моделирование системы предупреждения столкновения автомобиля с пешеходом.

Разработана имитационная модель, которая позволяет проводить статистические исследования вероятности столкновения пешехода с транспортным средством. В модели реализовано два варианта вождения - традиционное управление водителем и управление водителем с использованием системы предотвращения столкновения. Полученные статистические данные качественно верно отражают статистику столкновения. Применение данной имитационной модели позволит провести сравнительный анализ, выявить причины ДТП и разработать соответствующие организационные, кадровые, технические и другие мероприятия с целью снижения уровня аварийности

**Ключевые слова:** имитационная модель, столкновение, управление транспортным средством, система предотвращения столкновения.

*Lotysh V.V., Gumeniuk P.O., Demkiv V.O.* Imitation modeling of the vehicle collision avoidance system with the pedestrian.

A simulation model has been developed that allows statistical studies of the probability of a pedestrian collision with a vehicle. In the model, two variants of driving are implemented: traditional driver control and driver control using the collision avoidance system. The obtained statistical data qualitatively correctly reflect the collision statistics. The application of this simulation model will allow for a comparative analysis, identify the causes of accidents and develop the appropriate organizational, personnel, technical and other measures to reduce the level of accident rate.

**Key words:** simulation model, collision, vehicle control, collision avoidance system.

#### АВТОРИ:

*ЛОТИШ Володимир Вячеславович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ, e-mail: [admin@lntu.edu.ua](mailto:admin@lntu.edu.ua)

*ГУМЕНЮК Павло Олександрович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ, e-mail: [p.gumeniuk@lntu.edu.ua](mailto:p.gumeniuk@lntu.edu.ua)

*ДЕМКІВ Володимир Олегович*, магістр кафедри автоматизації та комп'ютерно – інтегрованих технологій, Луцький НТУ

#### АВТОРЫ:

*ЛОТЫШ Владимир Вячеславович*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и компьютерно - интегрированных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [admin@lntu.edu.ua](mailto:admin@lntu.edu.ua)

*ГУМЕНЮК Павел Александрович*, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и компьютерно - интегрированных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [p.gumeniuk@lntu.edu.ua](mailto:p.gumeniuk@lntu.edu.ua)

*ДЕМКИВ Владимир Олегович*, магистр кафедры автоматизации и компьютерно - интегрированных технологий, Луцкий НТУ

#### AUTHORS:

*Volodymyr LOTYSH*, PhD. in Engineering, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU, e-mail: [admin@lntu.edu.ua](mailto:admin@lntu.edu.ua)

*Pavlo GUMENYUK*, PhD. in Engineering, Associate Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU, e-mail: [p.gumeniuk@lntu.edu.ua](mailto:p.gumeniuk@lntu.edu.ua)

*Volodymyr DEMKIV*, Master of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk NTU

Стаття надійшла в редакцію 16.04.2018 р.