

ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ДЛЯ АКТУАЛІЗАЦІЇ ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ АВАРІЙНОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Вознюк А. Б., Каськів В. І.

Загибель та травмування учасників дорожнього руху є однією з найбільших проблем, яка негативно впливає на розвиток суспільства та соціально-економічний прогрес. Ціна людського життя занадто велика, щоб нехтувати найменшою можливістю його зберегти. Тому об'єктом дослідження обрано величезні масиви інформації, які генерує сучасне суспільство та які відомі під загальним поняттям Великі дані (Big data). Стосовно автомобільних доріг та вулиць, Великі дані означають масиви інформації про мережу автомобільних доріг та вулиць, застосовані на них проектні рішення, експлуатаційний стан, умови руху, взаємодію пішохідних та транспортних потоків тощо.

В ході дослідження використовувались Великі дані від власників автомобільних доріг, постачальників картографічних та навігаційних систем, інтелектуальних транспортних систем та правоохоронних органів. Для кожного з джерел Великих даних було оцінено способи збирання та обробляння, сферу охоплення, ступені вибірконості та точності вимірювань.

Отримані результати підтверджують той факт, що основним показником, який характеризує вплив дорожніх умов, технічного стану автомобіля та психо-фізіологічних факторів на водія, є швидкість руху як окремих транспортних засобів, так і транспортних потоків за певний період часу та на вибраній ділянці автомобільної дороги. Запропонований підхід ґрунтується на тому, що швидкості руху з високим ступенем достовірності можуть бути встановлені за допомогою Великих даних у вигляді, придатному для машинної обробки. Великі дані не просто є джерелом інформації, вони дозволяють відслідковувати тренди, оцінювати ризики та робити прогнози.

Отримані результати свідчать, що Великі дані можуть і повинні бути використані для опису умов руху та аналізу поведінки учасників дорожнього руху, в тому числі і для того, щоб краще зрозуміти взаємодію факторів виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). А також, наскільки це можливо, попередити виникнення аварійних ситуацій та/або зменшити тяжкість наслідків ДТП. Таким чином, Великі дані можуть бути використані для актуалізації чинних підходів до визначення місць концентрації ДТП та чинних методів оцінки впливу дорожніх умов на безпеку дорожнього руху.

Ключові слова: автомобільна дорога, аудит безпеки, безпека руху, метод оцінки впливу дорожніх умов, швидкість руху.

1. Вступ

Відповідно до статистичних даних [1], оприлюднених Всесвітньою організацією охорони здоров'я, у 2016 році кожні 24 секунди в дорожньо-транспортних пригодах (далі – ДТП) на дорогах та вулицях гинула одна людина.

Аналіз ДТП в світовому масштабі [1] свідчить про наступне (рис. 1):

- травми, отримані під час ДТП, знаходяться на 8-му місці серед 10 найпоширеніших причин смертності;
- травми, отримані під час ДТП, є головною причиною смертності серед дітей та молоді віком від 5 до 29 років;
- 54 % загиблих в ДТП становлять уразливі учасники дорожнього руху (з них, 28 % – мотоциклісти, 23 % – пішоходи, 3 % – велосипедисти);
- у країнах з високими доходами населення, в яких зареєстровано 40 % від світової кількості транспортних засобів, ДТП є причиною 7 % всіх смертей;
- в країнах з низькими доходами населення, в яких зареєстровано 1 % від світової кількості транспортних засобів, ДТП є причиною 13 % всіх смертей.

Крім того, за оцінками, наведеними у [2], практично 90 % всіх смертельних випадків внаслідок ДТП настає саме в країнах з середнім та низьким рівнями доходів населення.



Рис. 1. Наслідки дорожньо-транспортних пригод у світовому масштабі [3]

Якщо порівняти дані (рис. 2) про кількість ДТП, наприклад, в Україні та в країнах Європейського Союзу (рис. 3), то можна побачити, що впродовж

останніх років кількість ДТП не тільки припинила зниження, а в окремі роки навіть мала тенденцію до зростання.

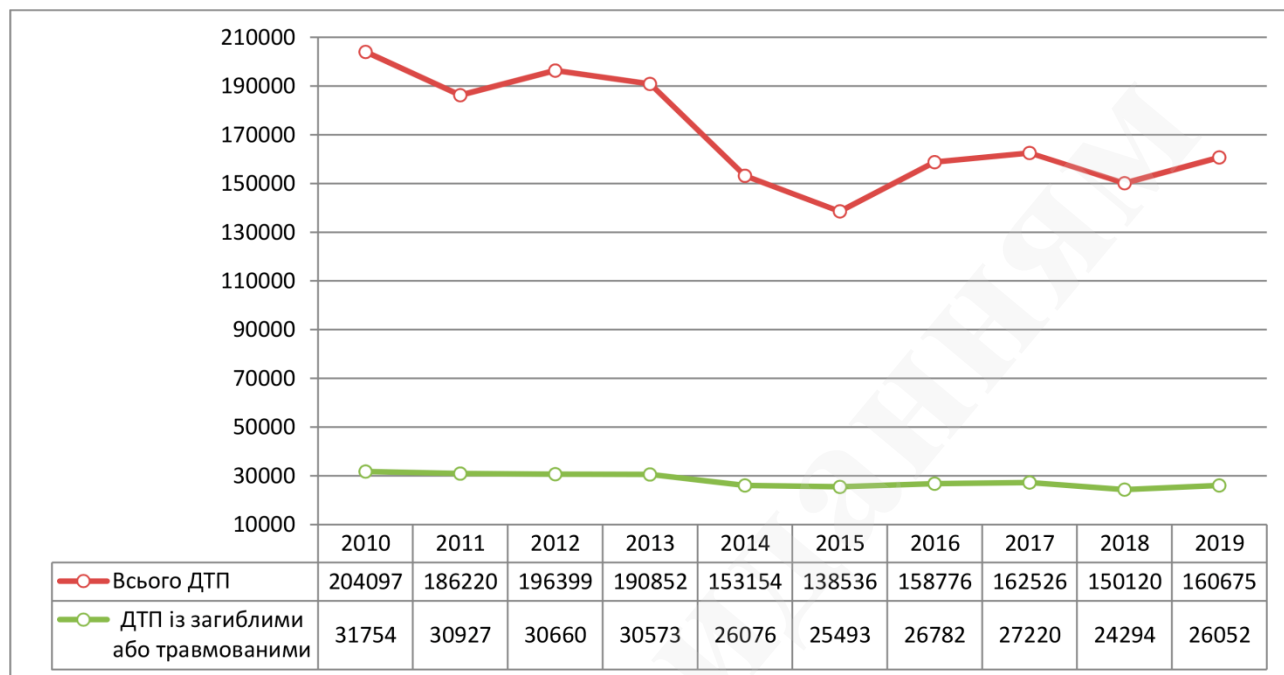
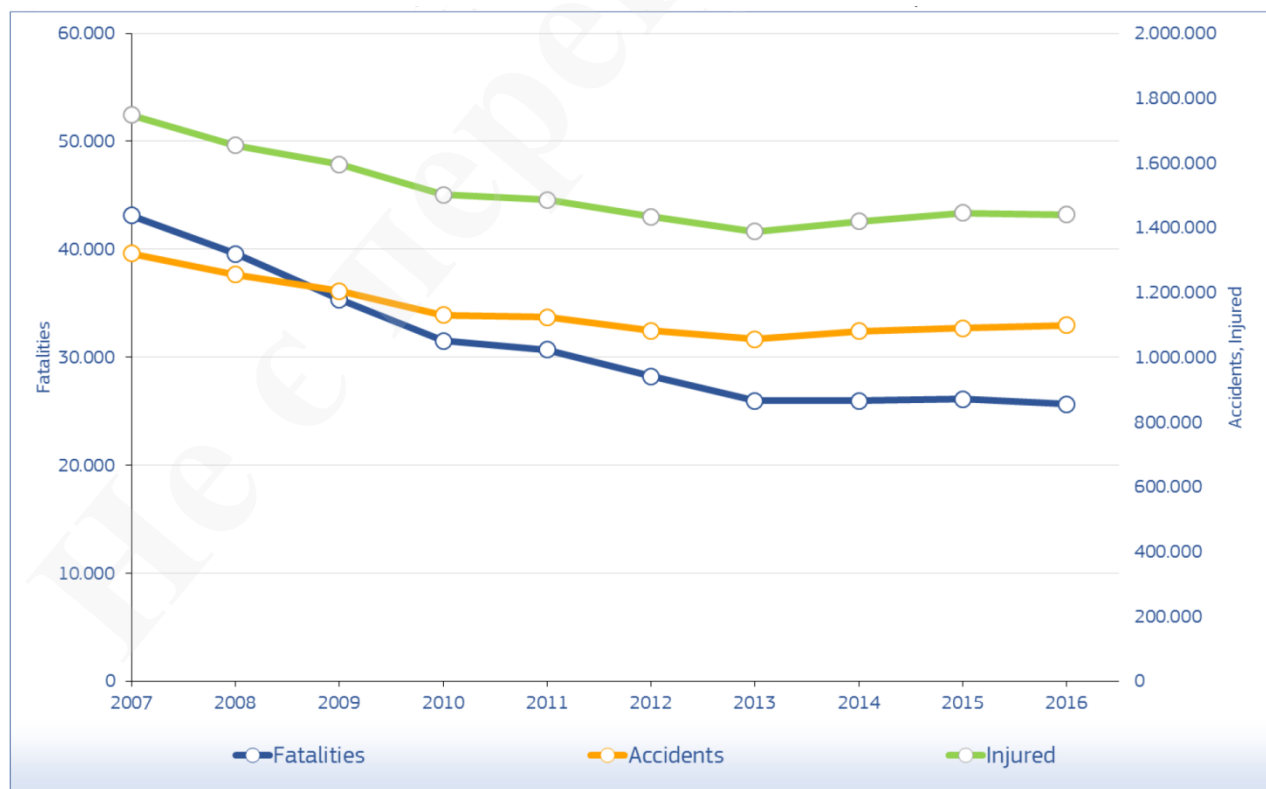


Рис. 2. Динаміка дорожньо-транспортних пригод в Україні [4]



Source: CARE (EU road accidents database) or national publications
Last update: April 2018

Рис. 3. Динаміка дорожньо-транспортних пригод в Європейському Союзі [5]

Факт настання подібної «стабілізації» може свідчити про потребу в якісних перетвореннях та змінах, покликаних підвищити безпеку дорожнього руху.

Зменшення ризиків виникнення ДТП вимагає рішучості та обґрунтованого прийняття рішень вищим керівництвом держави, промисловістю, неурядовими та міжнародними організаціями. Це також вимагає співпраці та взаємодії фахівців та експертів, в тому числі проєктантів автомобільних доріг, конструкторів транспортних засобів, правоохоронців, медичних працівників, журналістів, науковців та освітян, громадських організацій, лідерів думок та окремих учасників дорожнього руху. Потужні інформаційні кампанії мають важливе значення для усвідомлення важливості цього питання та мотивації посадових осіб та окремих громадян до вжиття відповідних заходів, дотримання чинного законодавства. А також прийняття нових нормативно-правових актів або внесення змін до таких, які виявились неефективними.

Крім цього, оновлення потребують підходи до аналізу аварійності на автомобільних дорогах та вулицях, методи оцінки впливу дорожніх умов, технічного стану автомобіля та психо-фізіологічного стану водія на безпеку дорожнього руху.

Тому актуальним є дослідження, спрямовані на вивчення масивів інформації про автомобільні дороги та транспортні потоки, відслідковування трендів, оцінювання ризиків, формування прогнозів. А також отримання нових знань про дорожньо-транспортні пригоди, які будуть використані для підвищення безпеки дорожнього руху.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є величезні масиви інформації, які генерує сучасне суспільство та які відомі під загальним поняттям Великі дані (Big data). Стосовно автомобільних доріг та вулиць, Великі дані означають масиви інформації про мережу автомобільних доріг та вулиць, застосовані на них проєктні рішення, експлуатаційний стан, умови руху, взаємодію пішоходних та транспортних потоків тощо. Отримані знання будуть використані для аналізу аварійності, визначення місць концентрації ДТП (так званих, чорних точок) з метою створення нових або удосконалення чинних підходів.

На даний час, загальноприйняті підходи до визначення місць концентрації ДТП у світі зводяться до порівняльного аналізу з використанням показника аварійності на автомобільному транспорті, який характеризується кількістю ДТП, в яких загинули або постраждали люди за певний період часу. При цьому тяжкість ДТП визначається кількістю загиблих на 100 постраждалих, для чого застосовуються відносні показники, а саме кількість смертей на дорогах на 100 тис. громадян (соціальний ризик) або на 10 тис. транспортних засобів (транспортний ризик).

Крім того, переважно на пострадянському просторі, використовується метод оцінки впливу дорожніх умов на безпеку дорожнього руху, який ґрунтується на методиці коефіцієнтів аварійності [6]. Ступінь небезпеки тієї чи іншої ділянки дороги характеризується підсумковим коефіцієнтом аварійності, який дорівнює добуткові окремих коефіцієнтів, що враховують вплив окремих елементів дороги або характеристик дорожнього руху. До таких елементів та характеристик, зазвичай, відносять:

- інтенсивність руху;
- кількість смуг руху;
- ширину проїжджої частини;
- ширину узбіччя;
- поздовжні похили;
- радіуси кривих в плані;
- видимість дороги в плані та в поздовжньому профілі;
- ширину проїжджої частини мостів відносно ширини проїжджої частини дороги;
- довжини прямих ділянок;
- типи пересічень або примикань в одному рівні та видимість транспортних засобів на них;
- відстань від забудови до проїжджої частини;
- рівність проїжджої частини та коефіцієнт зчеплення тощо.

Результати визначення коефіцієнтів аварійності оформляють у вигляді лінійних графіків.

Одним з найбільш проблемних місць є те, що більшість чинних підходів є реактивними, тобто їх застосування зумовлюється зростанням аварійності та тяжкості наслідків ДТП на тій чи іншій ділянці дороги або вулиці. Крім того, навіть проактивний (запобіжний) підхід переважно зводиться до аналізу застосованих проектних рішень з метою віддання переваги тим, досвід застосування яких свідчить про позитивний вплив на безпеку дорожнього руху.

Якщо взяти до уваги той факт, що наявність завідомо небезпечного елемента/проектного рішення на ділянці автомобільної дороги або вулиці, не завжди є причиною ДТП, постає потреба в багатофакторному аналізі факторів, які чинять вирішальний вплив на настання аварійної ситуації та ДТП, як її катастрофічного наслідку.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є створення нового показника або індексу, за допомогою якого можна оцінювати рівень безпеки дорожнього руху або актуалізація чинних залежностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. Виконати пошук та встановити фактори, які чинять вирішальний вплив на настання аварійної ситуації.
2. Розробити науковий метод щодо збирання та аналізу даних.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Розробленню теоретичних основ та моделюванню руху транспортних засобів та транспортних потоків завжди приділялась велика увага дослідників, наприклад, в роботах [7, 8]. Слід зауважити, що значна частина таких досліджень розглядає питання безпеки дорожнього руху досить однобоко – з точки зору досягнення максимальної ефективності роботи транспортних потоків: в найкоротший час, за найкоротшим маршрутом та з максимально можливою швидкістю.

Дослідження [9] здійснювалось шляхом аналізу показів GPS-трекерів та стосувалось вивчення поведінки за кермом та стилю водіння 27 водіїв на ділянці дороги SS106 довжиною 10 км у Південній Італії. На підставі трьох характерних швидкісних діапазонів було запропоновано три типи поведінки водіїв за кермом. Було встановлено, що з віком та зростанням досвіду, поведінка водіїв за кермом стає безпечнішою. Крім того, трапляються випадки, коли водії у віці надають перевагу рухові з низькою швидкістю, що також може створювати небезпеку для учасників дорожнього руху. Тобто, молоді люди з невеликим водійським стажем більш схильні до небезпечної поведінки за кермом з точки зору перевищення дозволеної швидкості.

Дослідження [10] мало схожу мету, але здійснювалось шляхом опитування 139 водіїв різних вікових груп стосовно схильності до перевищення швидкості та взагалі до імпульсивного прийняття рішень. Серед отриманих висновків слід відмітити, що чинні підходи з підвищення безпеки дорожнього руху, такі як освіта та штрафні санкції, не ефективні для водіїв «шукачів пригод». Для таких категорій варто застосовувати деякі форми обмежень, пов'язаних із віком, наприклад, диференційний підхід до видання посвідчення водія.

Відповідно до узагальнених результатів досліджень [11, 12], основною причиною виникнення ДТП є людський фактор (рис. 4), якому може відповідати сухе формулювання в протоколі ДТП: «водій не врахував дорожньої обстановки та не вибрав безпечної швидкості руху».

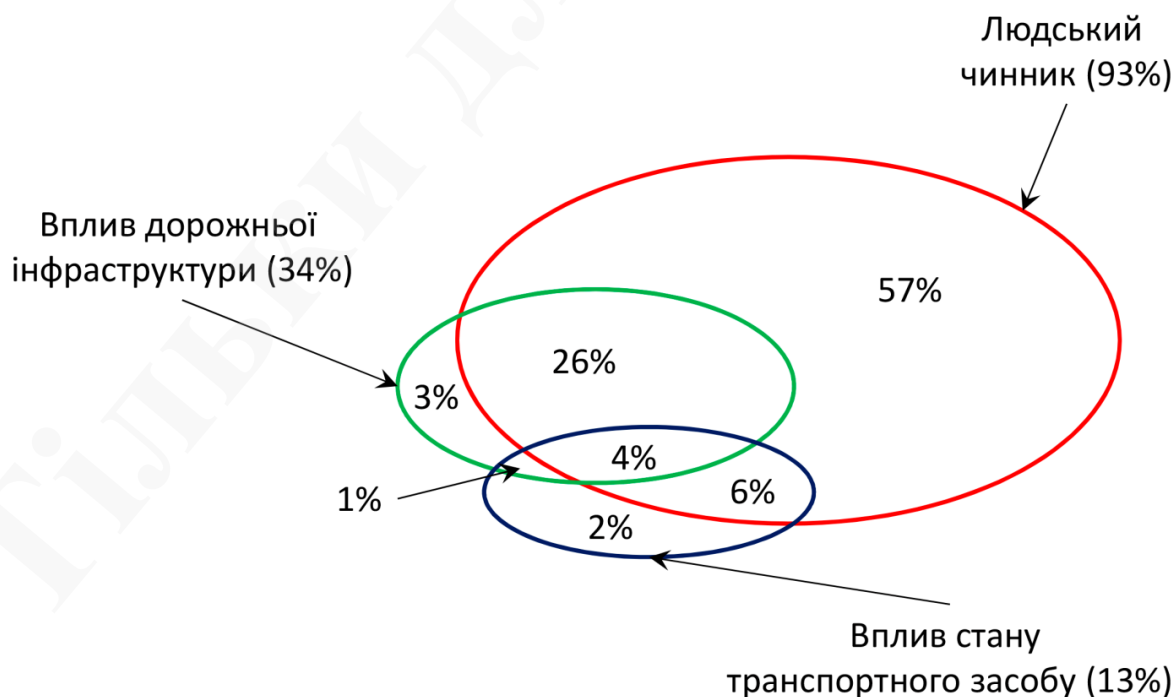


Рис. 4. Взаємодія факторів виникнення дорожньо-транспортних пригод [11, 12]

Дослідження [13], проведені в Данії стосовно 291 ДТП, які відбулись впродовж понад 10 років, показують наступний розподіл факторів, які їх спричинили (табл. 1).

Таблиця 1

Найбільш розповсюджені людські фактори, що спричинили дорожньо-транспортні пригоди [13]

Назва	% вирішальності	
	на виникнення ДТП	на отримання ушкоджень
Перевищення швидкості	13,88	24,39
Обмежена видимість	16,37	0,81
Неуважність та необачність	14,56	–
Неправильне оцінювання ситуації на дорозі	9,82	–
Небезпечне маневрування	9,37	5,69
Перебування під впливом алкоголю, наркотиків або ліків	7,22	1,63
Неприсебнуті паски безпеки	–	51,22
Інші фактори	28,78	16,26

Дослідження [14] базується на величезній базі даних безперервних 3-річних спостережень за допомогою відеореєстраторів та сенсорів за понад 3500 водіїв. У ньому представлені висновки, які свідчать, що відволікання водія на сторонні подразники або дії (табл. 2), особливо внаслідок використання персональних електронних пристроїв, стали причиною 618 (68,3 %) з 905 ДТП із постраждалими та/або матеріальним збитком. Таким чином, усунення факторів відволікання водіїв, може запобігти виникненню 4 з 11 мільйонів ДТП, які щороку відбуваються в США.

Таблиця 2

Найбільш розповсюджені фактори відволікання водіїв, що передували дорожньо-транспортних пригодам [14]

Назва	Тривалість від загального часу звичайної поїздки, %
1	2
<i>Видиме погіршення уваги, що спостерігалось впродовж 20 секунд до настання ДТП</i>	1,92 %
в т. ч., спричинене дією наркотичних речовин або алкоголю	0,08 %
сонливістю або втомою	1,57 %
проявом емоцій (злість, сум, плач та/або емоційне збудження)	0,22 %
<i>Помилкові дії водія</i>	4,81 %
в т. ч., пов'язані знедосвідченістю водія/незнайомою дорогою	0,07 %
«мертвою зоною» огляду з місця водія	0,05 %
поворотом в забороненому місці	0,51 %

Продовження таблиці 2

1	2
ненаданням переваги в русі	0,01 %
недотриманням вимог дорожніх знаків, сигналів світлофора та/або регулювальника	0,19 %
порушенням правил проїзду перехрестя	1,05 %
виїздом на смугу зустрічного руху	0,19 %
рухом з дуже низькою швидкістю	0,97 %
раптовим або недоречним гальмуванням/зупинкою	0,01 %
не подаванням попереджувального сигналу	2,27 %
<i>Помилки прийняття миттєвого рішення</i>	4,22 %
в т. ч., пов'язані загресивною манерою керування (загальна спостережувана поведінка водія)	0,10 %
перевищенням швидкості (понад встановлені обмеження або з огляду на дорожню обстановку)	2,77 %
перевищенням швидкості або недотриманням інших встановлених вимог на ділянках виконання дорожніх робіт	0,05 %
порушення вимог обгону	0,18 %
недотриманням безпечної дистанції	0,07 %
навмисним порушенням вимог дорожніх знаків, сигналів світлофора та/або регулювальника	0,19 %
порушенням правил проїзду перехрестя	1,04 %
<i>Видиме відволікання уваги, що спостерігалось впродовж 6 секунд до настання ДТП</i>	51,93 %
в т. ч., пов'язане з керуванням аудіосистемою	2,21 %
керуванням системою клімат-контролю	0,56 %
керуванням іншою бортовою системою	0,83 %
керуванням бортовими системами в цілому	3,53 %
спогляданням на мобільний телефон	0,73 %
набиранням телефонного номера (тримаючи телефон в руці)	0,14 %
прийманням телефонного дзвінка	0,58 %
набиранням повідомлення (тримаючи телефон в руці)	1,91 %
розмовою по телефону (тримаючи телефон в руці)	3,24 %
користуванням телефоном в цілому (тримаючи телефон в руці)	6,40 %
відволіканням на дитину на задньому сидінні	0,80 %
спілкуванням з пасажиром	14,58 %
читанням/писанням (в т. ч. на планшеті)	0,09 %
вживанням їжі	1,90 %
вживанням безалкогольних напоїв	1,22 %
особистими гігієнічними процедурами	1,69 %
діставання предметів (окрім мобільних телефонів)	1,08 %
підтанцювання під музику	1,10 %
тривалим затриманням погляду на сторонніх об'єктах або предметах	0,93 %

Багаторічні із залученням значної кількості науковців дослідження [15] свідчать, що успішне впровадження новітніх допоміжних систем для водіїв, динамічних систем керування дорожнім рухом (інтелектуальних транспортних систем, ІТС) або удосконалення конструкцій доріг значною мірою залежить від того, наскільки учасники дорожнього руху можуть або хочуть сприймати ці нововведення. Для цього потрібні знання про працездатність та поведінку людей у складних та динамічних середовищах, оскільки саме учасники дорожнього руху є кінцевими споживачами ІТС. На всіх етапах розвитку ІТС (від концептуальної розробки до широкомасштабної реалізації) необхідні емпіричні дослідження для вивчення таких питань, як поведінка водія, взаємодія людина-машина, робоче навантаження та прийнятність.

Ці висновки корелюють з філософією Vision Zero, яка набула поширення у багатьох країнах світу та полягає в тому, що шляхом створення безпечної транспортної системи можна якщо не запобігти виникненню ДТП, то, принаймні, виправити неминучі людські помилки таким чином, щоб вони не призводили до загибелі та серйозних травм.

Дослідження [16] базувались на статистичних даних про ДТП, які відбулись в Польщі в проміжку між 2010 та 2016 роками та мали на меті розроблення математичної моделі прогнозування кількості ДТП на мережі доріг.

Підсумовуючи наведені вище факти, стає зрозуміло, що Великі дані можуть і повинні бути використані для опису умов руху та аналізу поведінки учасників дорожнього руху. Великі дані слід використовувати в тому числі і для того, щоб краще зрозуміти взаємодію факторів виникнення ДТП та, наскільки це можливо, попередити виникнення аварійних ситуацій та/або зменшити тяжкість наслідків ДТП.

5. Методи досліджень

Для дослідження Великих даних застосовувався метод порівняння. З цією метою Великі дані були класифіковані за джерелами походження, за кількістю параметрів, які описують дорогу, водія та умови руху, за сферою охоплення та за періодичністю оновлення. Окрема увага була приділена можливості перевірки достовірності одних Великих даних за допомогою інших.

6. Результати дослідження

Аналіз джерел походження (табл. 3) показує, що єдиного глобального джерела Великих даних про умови руху та транспортні потоки не існує і, очевидно, не може існувати. Більше того, для отримання цілісного уявлення про взаємодію всіх супутніх факторів та їх вплив на виникнення аварійних ситуацій виникає потреба в пошукові або розробленні механізмів консолідації накопичених даних. Це робиться для того, щоб вони стали якомога придатнішими для прийняття керівних рішень з підвищення безпеки руху.

Таблиця 3

Великі дані про дороги, умови руху та аварійність

Джерело \ Великі дані	Геометричні параметри доріг	Інженерне облаштування доріг	Стан покриття	Обмеження руху	Погодні умови	Інтенсивність руху	Склад транспортного потоку	Швидкість руху	Щільність руху	Аварійність
Власники автомобільних доріг	●	●	●	●	⊙	●	●	●		⊙
Автоматичні лічильники руху						●	●	●	●	
Системи зважування в русі					●	●	●	●	●	
Системи стягнення плати за проїзд						●	●	●		
Системи відеоспостереження				●	●	●	●	●		●
Правоохоронні органи	⊙	⊙	⊙	●	⊙			⊙		●
Оператори мобільного зв'язку						●	●	●	●	
Картографічні та навігаційні системи		●	-	●	●	●		●		●
Окремі учасники дорожнього руху		⊙	⊙	⊙	⊙			⊙		⊙
Метеорологічні служби					●					
Дорожні метеостанції					●					
Лікувальні заклади										●
Страхові компанії										●
<p>Умовні позначення:</p> <p>● – глобальні дані – дані, зібрані з усієї мережі автомобільних доріг;</p> <p>● – часткові дані – дані, зібрані з окремої дороги або для обмеженого кола випадків;</p> <p>⊙ – фрагментарні дані – дані, зібрані про окрему особу або групу осіб, або дані, отримання яких залежить від бажання окремої особи ними поділитись</p> <p>■ – відсутні дані</p>										

Аналіз розподілу швидкостей по довжині дороги у поєднанні з аналізом умов руху, які їх спричинили, може стати ключем до встановлення причин виникнення аварійних ситуацій. При цьому береться до уваги той факт, що поведінка водія за кермом є похідною від темпераменту, часу, проведеного за кермом, умов руху та характеристик транспортного засобу, яка проявляється у манері керування та виборі швидкості руху.

Крім того, моделювання поведінки водія [8] дозволяє окреслити гіпотетичну

зону комфорту водія (рис. 5), яка окреслюється кривими прийнятних сил прискорення (коли водій натискає на педаль газу) та сповільнення (коли водій натискає на гальма). Початок координат на графіку рис. 5 являє собою потенційну небезпеку або перешкоду, а осі показують відповідно відстань до цієї перешкоди та швидкість наближення до неї. Звичайне гальмування, як правило, призводить до зусиль порядку $0,3g$, а різке – $0,6g$. Водій, який піклується про власний комфорт (і комфорт своїх пасажирів), як правило, прагне якомога довше утримуватись у зоні комфорту, уникаючи різких прискорень та ситуацій, які можуть вимагати різкого гальмування.

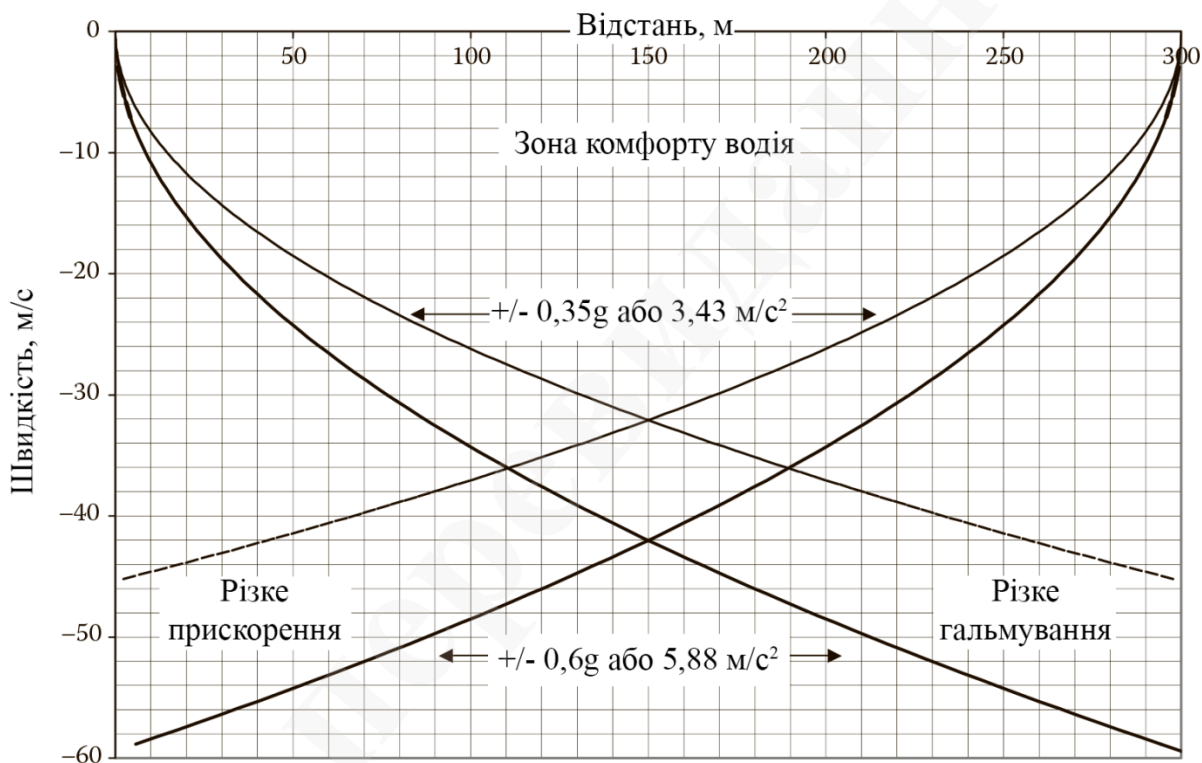


Рис. 5. Гіпотетична зона комфорту водія [13]

Таким чином, аналізуючи Великі дані, зниження швидкості руху слід розглядати як свідчення настання передаварійної ситуації, та брати до уваги всі ДТП. Оскільки, як наголошено в [1], швидкість руху є одним з основних факторів ризику дорожньо-транспортного травматизму: вона не тільки збільшує ризик настання ДТП, а й посилює її наслідки. Тим більше, свідоме нехтування якимось з факторів, навіть з метою спрощення або полегшення аналізу, може призвести до хибних висновків – так званого упередження виживання (англ. survivorship bias), – що неприпустимо.

З метою перевірки, підтвердження та/або спростування наведених вище фактів та припущень в межах цього дослідження було прийняте рішення проаналізувати на прикладі Великих даних однієї з доріг в межах України. Вибір автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп (на м. Будапешт через міста Львів, Мукачево та Ужгород) був здійснений на підставі наступних чинників:

– це найдовша (понад 900 км разом з підходами, обходами та

транспортними розв'язками) дорога України та важливий транспортний коридор (національного та міжнародного значення);

– ця дорога проходить через 3 з 4-х дорожньо-кліматичних зон України (північну, центральну та гірську);

– за сукупністю характеристик ця дорога не відноситься до швидкісних доріг згідно з європейською класифікацією [4]. Тому проведений аналіз може бути корисний для дослідників, оскільки ДТП саме на позаміських дорогах такого типу (rural roads, non motorway) в ЄС мають найтяжчі наслідки (54 % від всіх загиблих);

– на цій дорозі станом на 01.01.2020 обліковується 19 з 59 загальноукраїнських місць концентрації ДТП [3].

6.1. Ділянки зі стабільними швидкостями руху

Тривалість руху за маршрутом навігаційними системами визначається як сума часових проміжків проходження окремих ділянок, які складають цей маршрут. Основу для розрахунків складають дані спостережень, зібраних з навігаційних пристроїв транспортних засобів, які рухались цими ділянками. Крім того, результати первинного розрахунку постійно коригуються на підставі миттєвих даних про швидкості руху та затори.

У якості прикладу джерела Великих даних – постачальника навігаційних систем – в межах цього дослідження було обрано компанію ТомТом, яка оперує даними, що надходять від понад 600 мільйонів підключених пристроїв з 77 країн світу (11 мільйонів записів даних щоденно). Ці дані забезпечують рівень точності до 10 метрів та оновлюються кожні 30 секунд. Помилкові дані або дані про невластиву поведінку відфільтровуються. Узагальнення даних здійснюється щоквартально.

Результати поділу автомобільної дороги М-06 на ділянки зі стабільними швидкостями руху наведені на рис. 6.

Відповідно до джерела даних, вся дорога поділена на 612 умовних ділянок середньою довжиною 1335 м (від 15 до 7624 м), впродовж яких швидкість вільного потоку, визначена як міжквартильний розмах, стабільна (від 17 до 115 км/год). Середній перепад швидкості між сусідніми ділянками становить 5,8 км/год (від 1 до 45 км/год).

Аналіз розподілу швидкостей (рис. 6), підтверджує схильність водіїв до перевищення встановлених обмежень швидкості, особливо, на ділянках доріг, які проходять через населені пункти. Лише в високогірних районах Карпат геометричні параметри дороги не дозволяють (окрім населених пунктів) розганятись понад встановлені обмеження.

Розподіл швидкостей на окремих ділянках доріг можливо також отримати, проаналізувавши дані, зібрані системою зважування в русі, наприклад, на км 24+130 (WIM1, лише в бік Києва) та км 54+336 (WIM2, в бік Києва та в бік Чопа). За приблизно той самий проміжок часу, який був опрацьований ТомТом (рис. 6) – 1-й квартал 2020 року – через ці 2 майданчики зважування в русі пройшло 1 691 993 автомобілі (рис. 7).

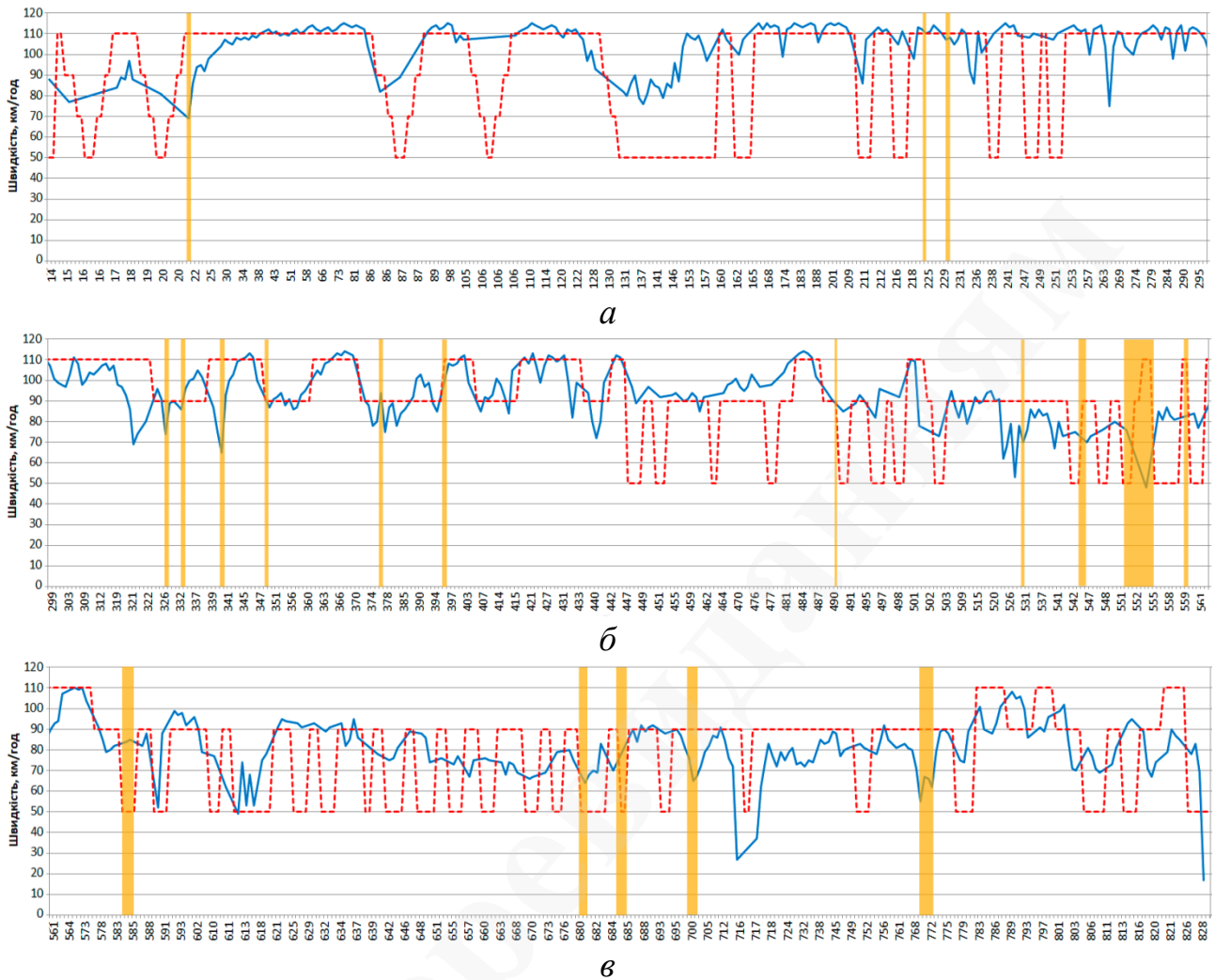


Рис. 6. Розподіл швидкостей на а/д М-06 від км 14+080 до км 831+711 (ціна поділки кілометрової шкали залежить від насиченості ключовими точками): а – на ділянці від км 14+080 до км 296+000; б – на ділянці від км 296+000 до км 561+000; в – на ділянці від км 561+000 до км 831+711; — швидкість потоку; - - - - обмеження швидкості; ■ – ділянки концентрації ДТП станом на 01.01.2020

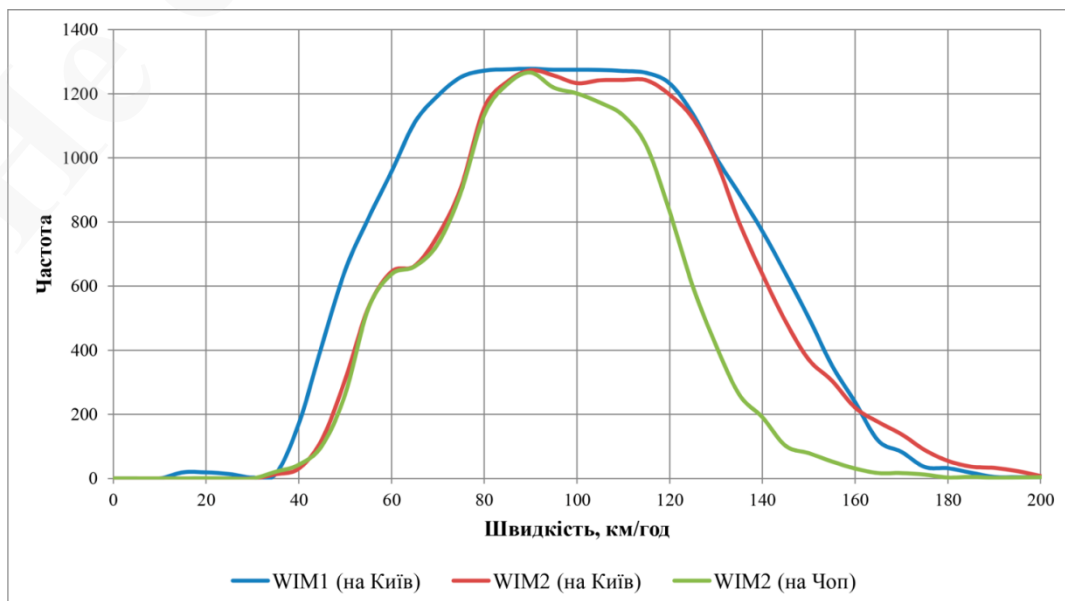


Рис. 7. Розподіл швидкостей на а/д М-06 на км 24+130 (WIM1) та км 54+336 (WIM2)

Порівняння міжквартильних розмахів для даних ТомТом та WIM наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Порівняння міжквартильних розмахів для різних джерел
Великих даних про швидкість руху

Джерело	Ділянка	М-06 км 54+336		
		М-06 км 24+130	на Київ	на Чоп
ТомТом		95	111	
WIM		100	109	97
різниця		+5 %	-2 %	-13 %

Різниця швидкостей руху на суміжних смугах (рис. 8–10) становить в середньому від 20 до 30 км/год, що в свою чергу може бути додатковим фактором настання аварійної ситуації при здійсненні маневрів (випередження, зміна смуги руху тощо).



Рис. 8. Розподіл швидкостей на а/д М-06 на км 24+130 (WIM1, в бік Києва)

Дозволена швидкість – **110** км/год



Рис. 9. Розподіл швидкостей на а/д М-06 на км 54+336 (WIM2, в бік Києва)

Дозволена швидкість – **110** км/год

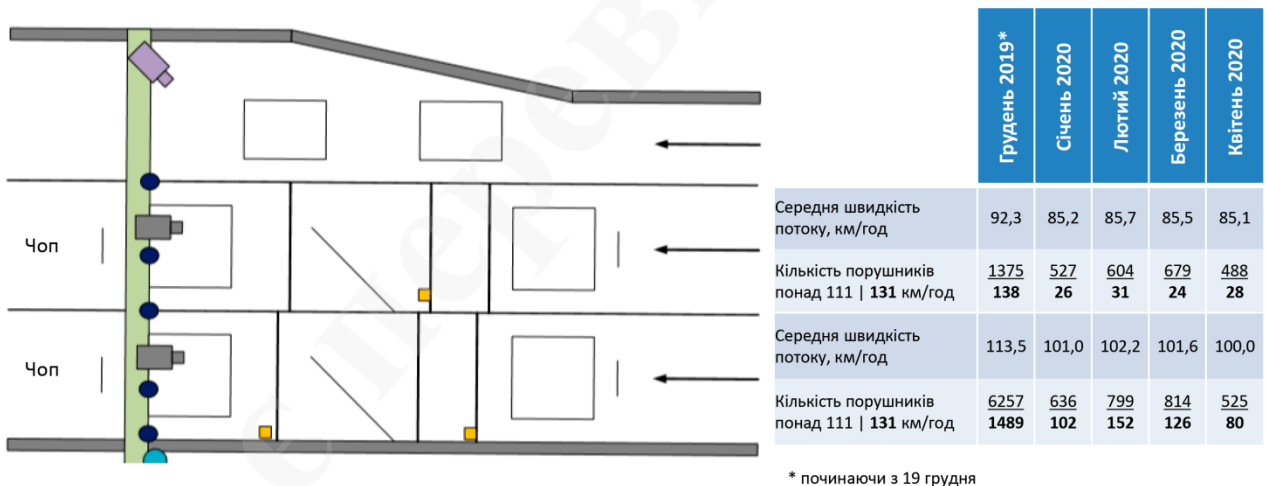
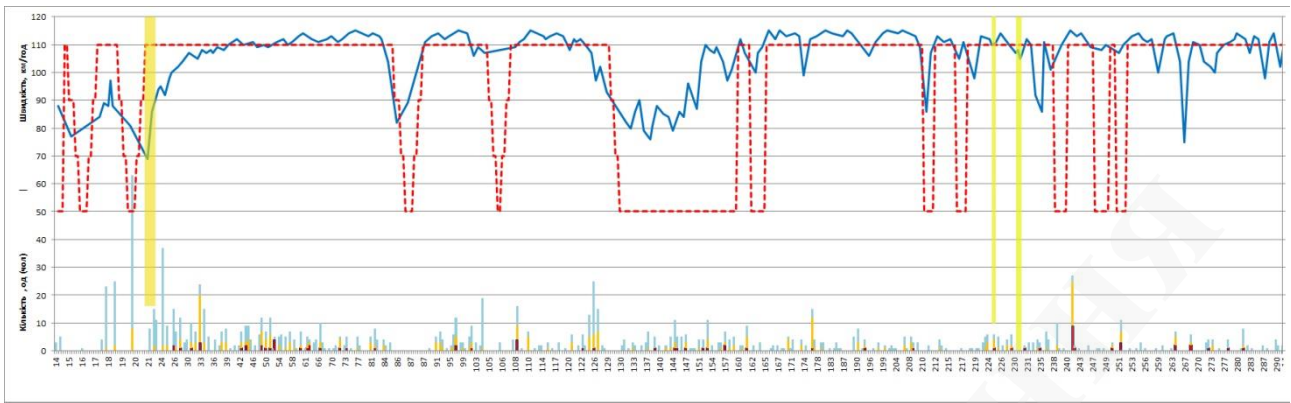


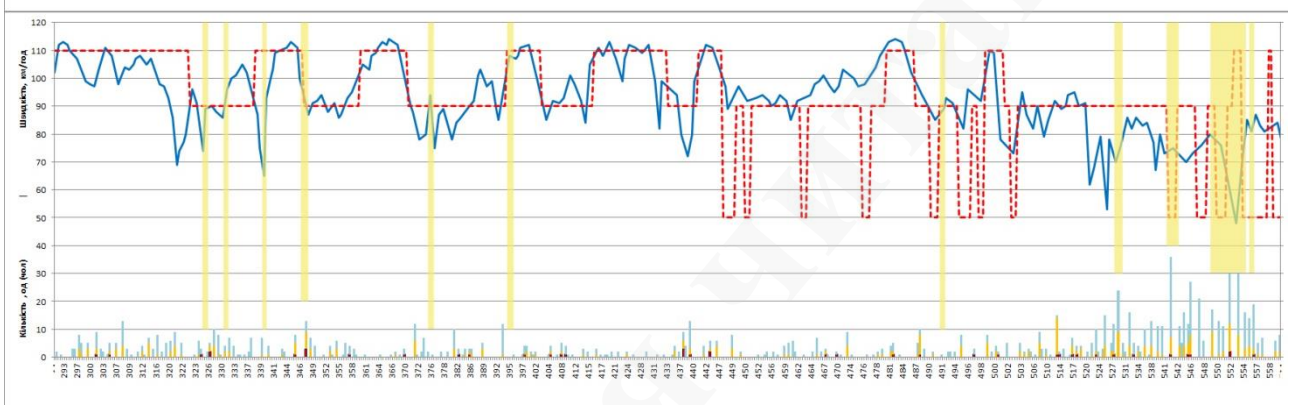
Рис. 10. Розподіл швидкостей на а/д М-06 на км 54+336 (WIM2, в бік Чопа)

6.2. Місця виникнення ДТП

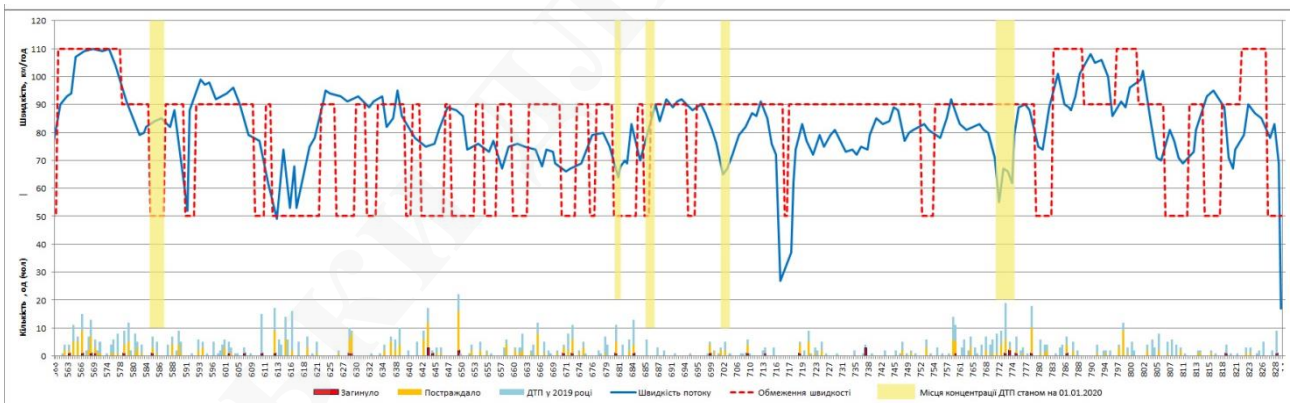
Комбінуючи дані про розподіл швидкостей з іншими даними про автомобільну дорогу та аварійність, можливо прослідкувати окремі залежності, встановити, яке поєднання небезпечних факторів чинить вирішальний вплив на виникнення кожного окремого ДТП або утворення місць концентрації ДТП (рис. 11).



a



б



в

Рис. 11. Розподіл кількості ДТП в 2019 році на а/д М-06 від км 14+080 до км 831+711 (ціна поділки кілометрової шкали залежить від насиченості ключовими точками): *a* – на ділянці від км 14+080 до км 290+000; *б* – на ділянці від км 290+000 до км 560+000; *в* – на ділянці від км 560+000 до км 831+711

Очевидно, що більшість ДТП виникають саме в місцях перепадів швидкості руху. А тяжкість наслідків тим більша, чим вища швидкість потоку або чим більшою є різниця між фактичною та дозволеною швидкостями.

Щоб зрозуміти причини, які змушують водіїв змінювати швидкість руху та підтвердити або спростувати дані про розподіл швидкостей (рис. 6), можна використовувати дані з GPS-трекерів окремих автомобілів (рис. 12). В даному дослідженні використовувались знеособлені дані про рух 36 автомобілів, які належать підприємствам, підпорядкованим Укравтодору, записані в проміжку з

грудня 2019 року до березня 2020 року. Впродовж цього періоду ними було подолано відстань 178 574 км. Цінність таких даних передусім полягає в тому, що вони зібрані з автомобілів, за кермом яких перебували професійні водії, які добре знали умови руху за кожним з маршрутів. Крім того, водії не знали, що беруть участь в експерименті і, таким чином, свідомо або не свідомо, не могли вплинути на якість зібраних даних.

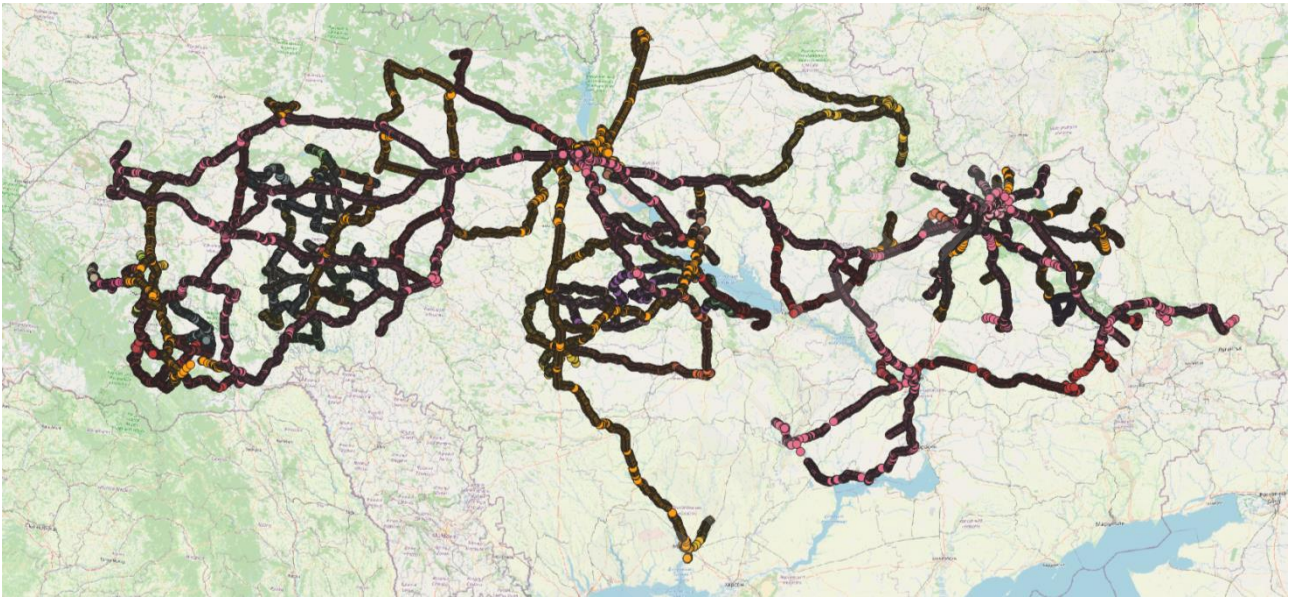
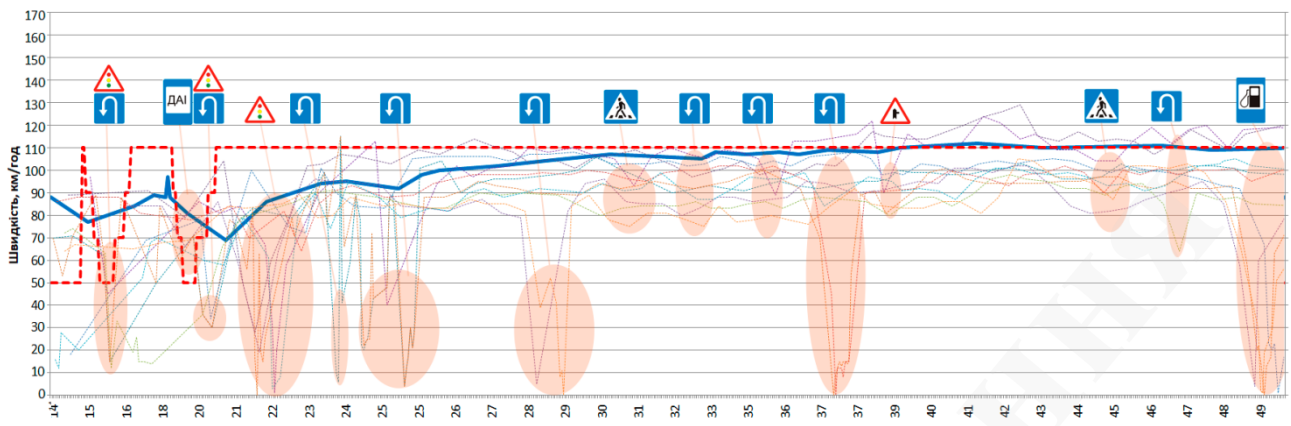


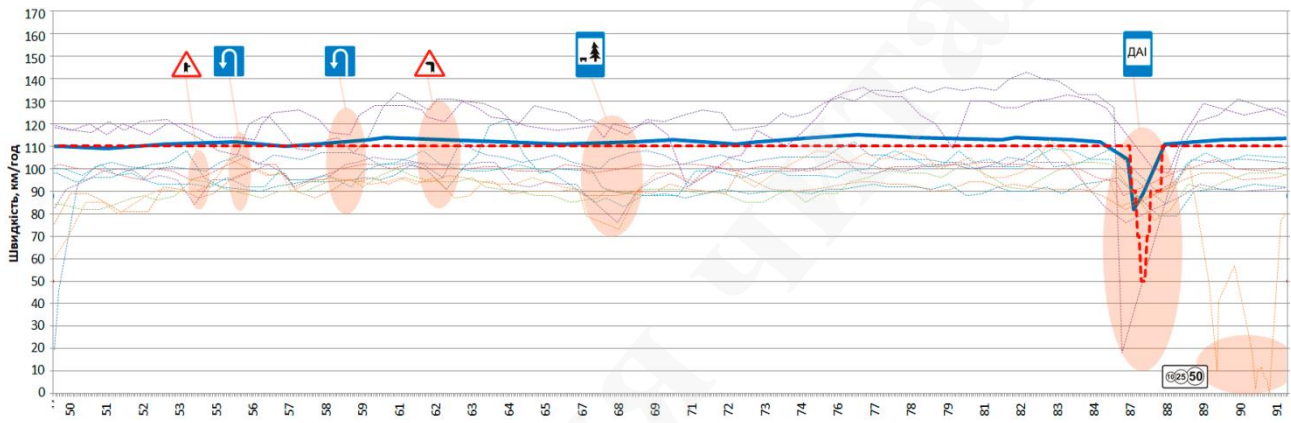
Рис. 12. Маршрути руху автомобілів автомобільними дорогами України, записані в проміжку з грудня 2019 року до березня 2020 року та використані в цьому дослідженні (картографічні дані надано OpenStreetMap)

Першість серед аварійно-небезпечних місць на цій ділянці а/д М-06 утримують віднесені ліві повороти (рис. 13), причому аварійність на них пропорційна інтенсивності руху (табл. 5) та швидкості руху (рис. 11).

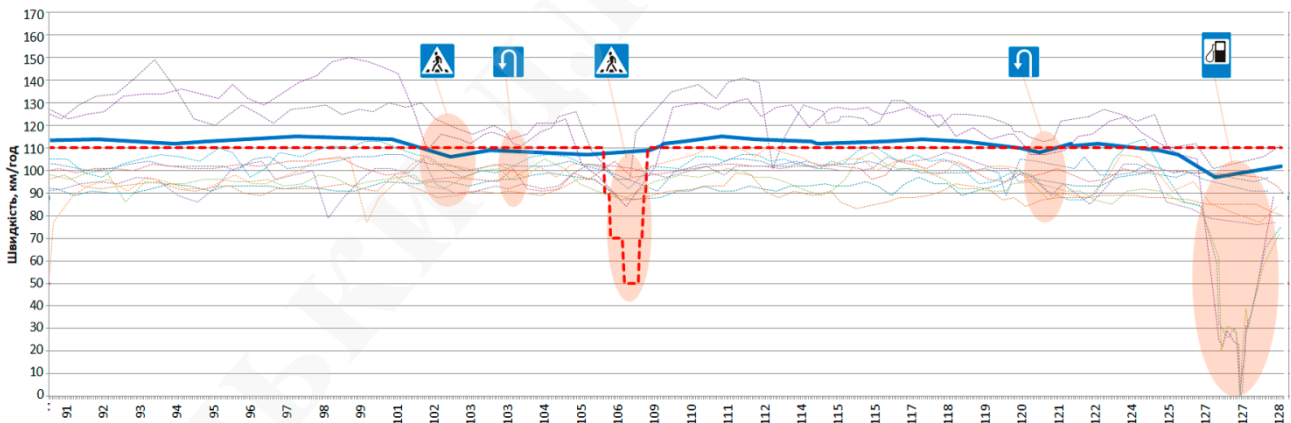
Швидкості руху на підходах до пішохідних переходів в одному рівні (рис. 13) свідчать, що лише заходами з організації дорожнього руху (дорожні знаки з облямівкою, дорожня розмітка 1.14.3 та шумові смуги) неможливо досягти зниження швидкості руху до прийнятних 50 км/год. Навіть у випадку, коли водій вчасно зреагує на появу пішохода та загальмує перед переходом, він ризикує потрапити в ДТП внаслідок наїзду ззаду, спричиненого менш уважним водієм (табл. 1, 2).



a



б



в

Рис. 13. Розподіл швидкостей на а/д М-06 від км 14+080 до км 128+000 у порівнянні з даними про рух окремих автомобілів (ціна поділки кілометрової шкали залежить від насиченості ключовими точками): *a* – на ділянці від км 14+080 до км 49+500; *б* – на ділянці від км 49+500 до км 90+800; *в* – на ділянці від км 90+800 до км 128+000: — швидкість потоку; - - - обмеження швидкості; – Авто 1; – Авто 2; – Авто 3; – Авто 4; – Авто 5; – Авто 6; – Авто 7; – Авто 8;

..... – Авто 9; – Авто 10

Таблиця 5

Середньорічна добова інтенсивність руху на а/д М-06 від км 14+080 до км 128+600 станом на травень 2017 року

Від км +	До км +	Кількість транспортних засобів, авто/добу
21+900	24+720	38 057
24+720	35+000	28 265
35+000	51+580	22 179
51+580	68+430	19 038
68+430	86+356	19 027
86+356	103+050	14 636
103+050	120+160	12 619
120+160	128+600	19 428

Крім того, аварійні ситуації частіше виникають в місцях так званої «підвищеної соціальної активності». Наприклад, на ділянці від км 89+000 до км 106+000 а/д М-06 спостерігається висока концентрація точок стихійної торгівлі. Оскільки імпровізовані прилавки влаштовуються продавцями найчастіше на узбіччі та на бар'єрному огороженні, водії транспортних засобів знижують швидкість, роздивляючись асортимент, а у випадку зацікавленості у здійсненні покупки різко гальмують та зупиняють транспортні засоби в межах проїзної частини, часто неочікувано для інших учасників дорожнього руху.

Аналіз записів про рух окремих автомобілів можна дещо спростити (рис. 14), якщо фіксувати лише небезпечні прискорення/сповільнення (рис. 5).

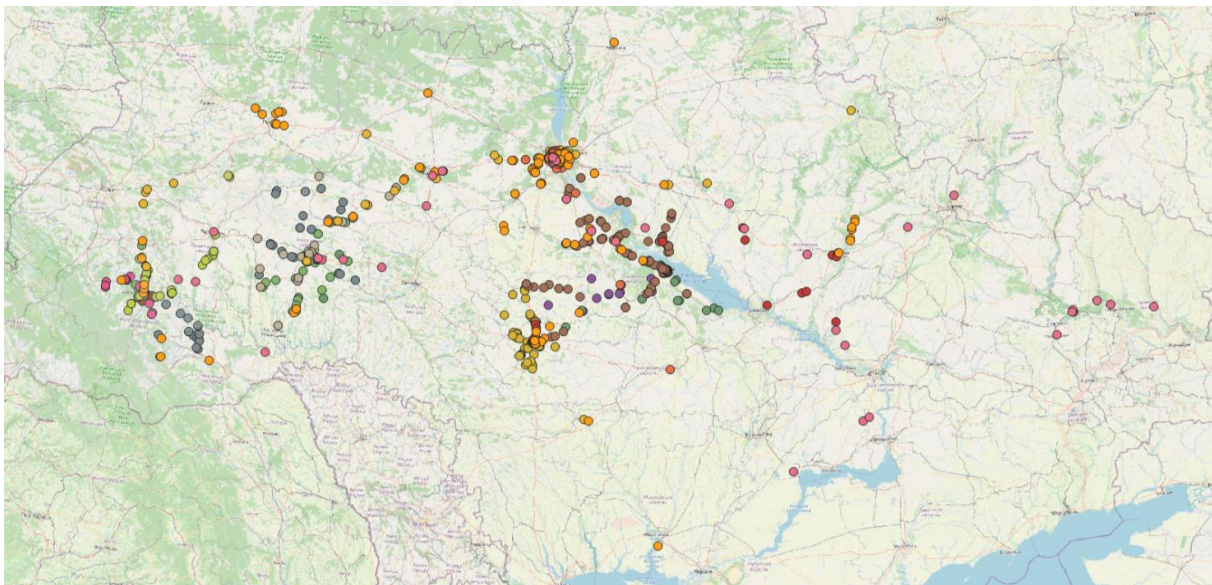


Рис. 14. Координати місць фіксації небезпечних прискорень та сповільнень (картографічні дані надано OpenStreetMap)

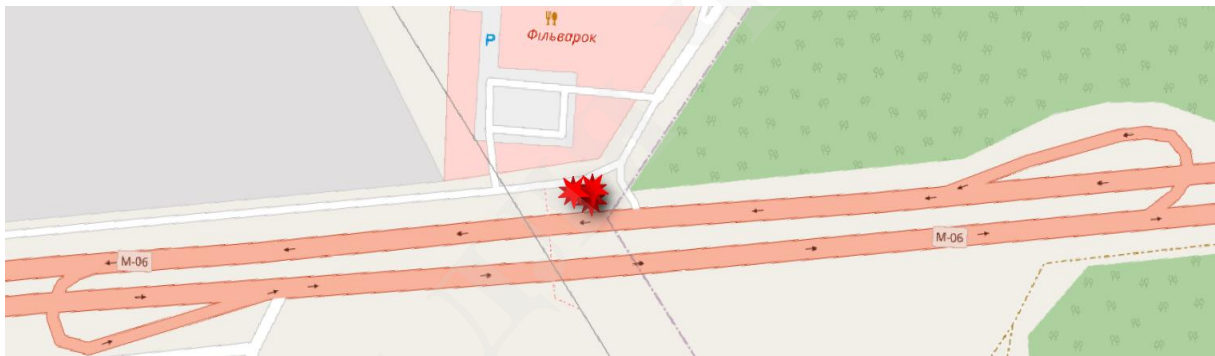
Приклади місць фіксації небезпечних прискорень та сповільнень на автомобільній дорозі М-06 наведені на рис. 15–18.



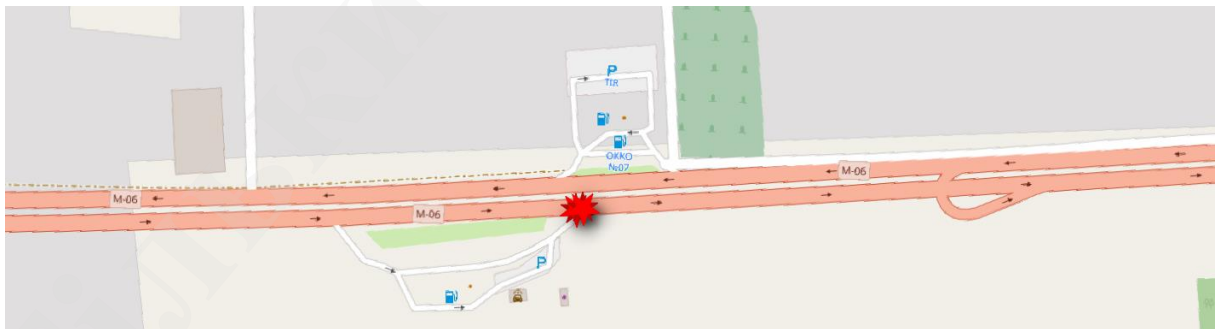
a



б

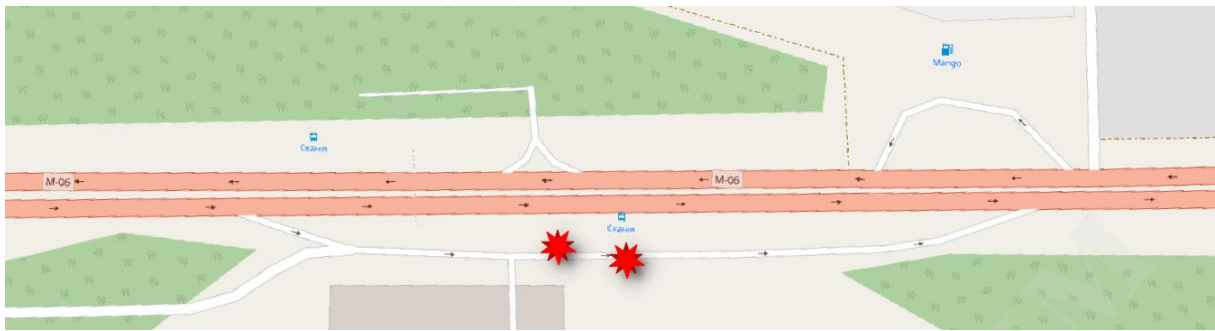


в



г

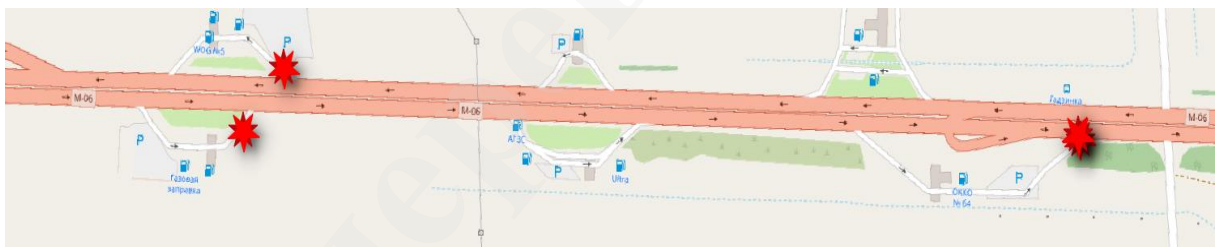
Рис. 15. Місця фіксації небезпечних прискорень та сповільнень на а/д М-06 в проміжку від грудня 2019 року до березня 2020 року (картографічні дані надано OpenStreetMap): *a* – на перехресті км 21+780; *б* – на ділянці від км 23+400 до км 24+200; *в* – на ділянці від км 36+620 до км 37+095; *г* – на ділянці від км 48+900 до км 49+600



a



б

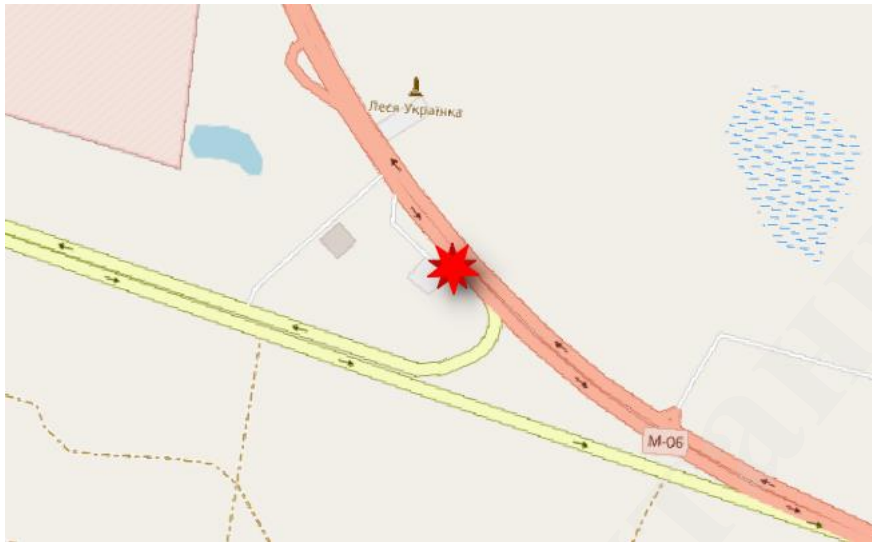


в

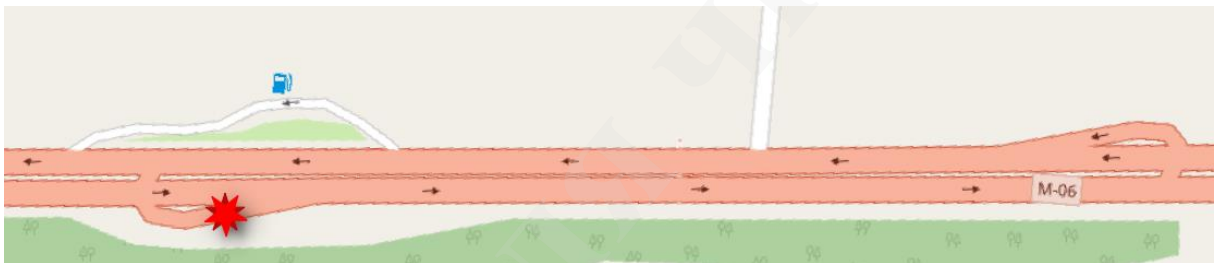


г

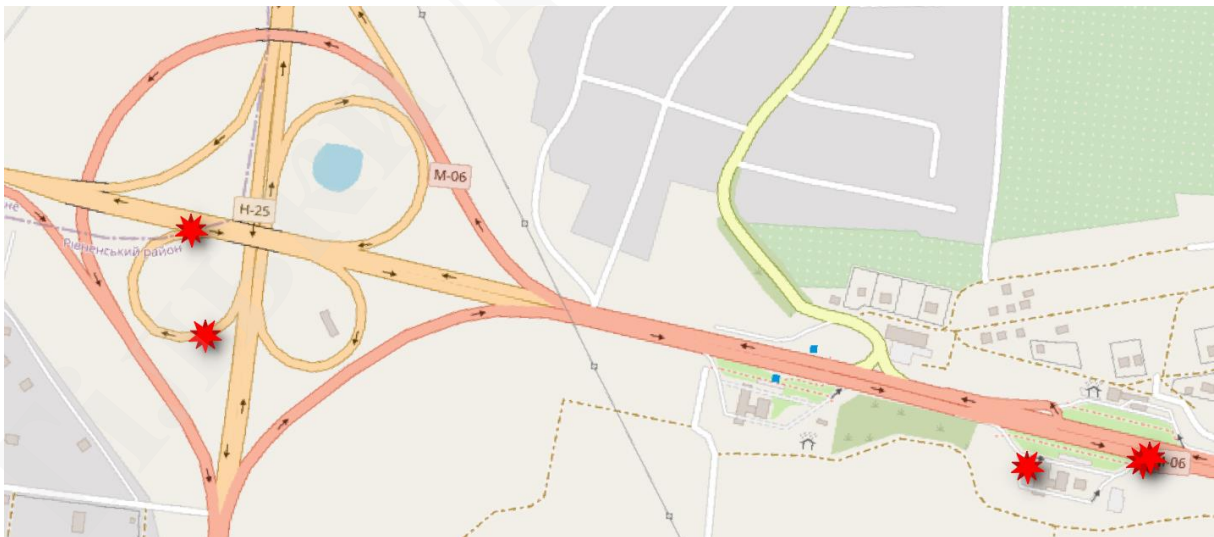
Рис. 16. Місця фіксації небезпечних прискорень та сповільнень на а/д М-06 в проміжку від грудня 2019 року до березня 2020 року (картографічні дані надано OpenStreetMap): *a* – на ділянці від км 50+500 до км 51+100; *б* – на ділянці від км 65+500 до км 66+000; *в* – на ділянці від км 127+000 до км 128+000; *г* – на ділянці від км 152+200 до км 154+500



a



б



в

Рис. 17. Місця фіксації небезпечних прискорень та сповільнень на а/д М-06 в проміжку від грудня 2019 року до березня 2020 року (картографічні дані надано OpenStreetMap): *a* – на ділянці від км 219+800 до км 220+800; *б* – на ділянці від км 311+400 до км 312+100; *в* – на ділянці від км 320+200 до км 322+200



Рис. 18. Місця фіксації небезпечних прискорень та сповільнень на а/д М-06 в проміжку від грудня 2019 року до березня 2020 року (картографічні дані надано OpenStreetMap) на ділянці від км 460+700 до км 461+000

Для візуального та геопросторового аналізу, Великі дані крім всього можуть бути накладені на картографічну основу (рис. 19, 20). Розподіл небезпечних кривих ($R < 500$ м), спусків та підйомів (понад 40 проміле), а також окремих ДТП дозволяє прослідкувати залежність ймовірності виникнення аварійних ситуацій від геометричних параметрів дороги (рис. 19).

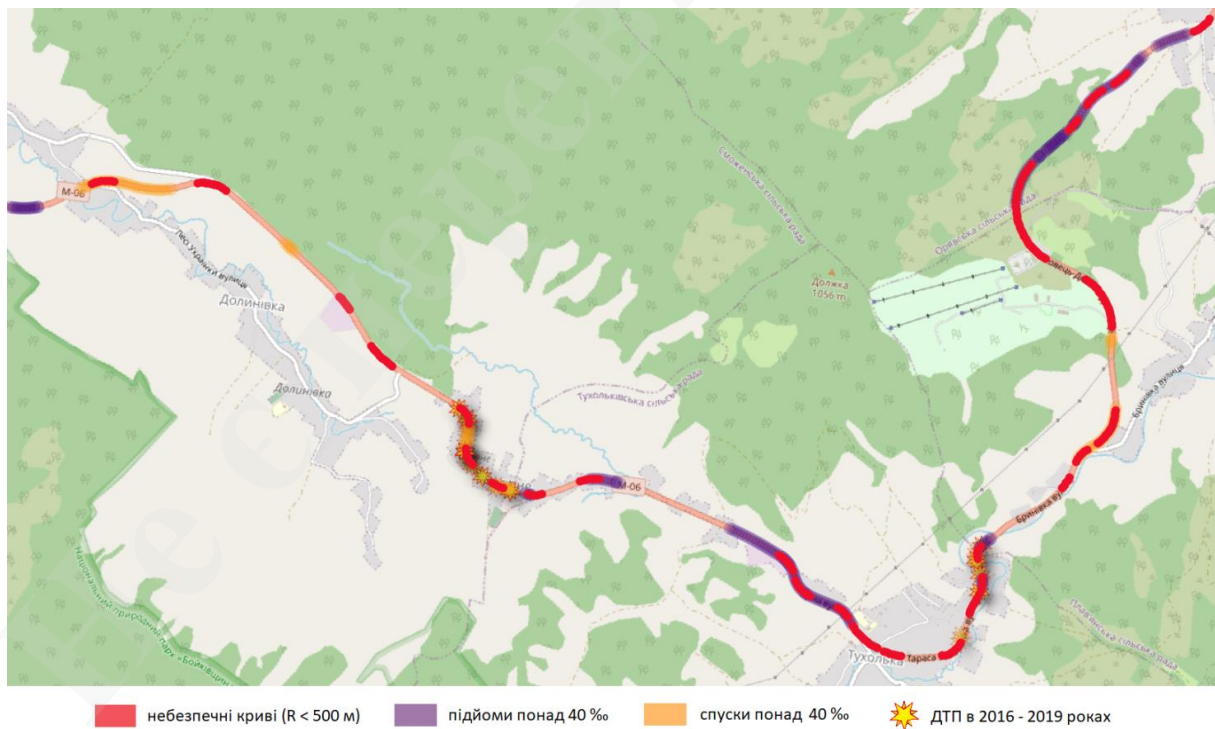


Рис. 16. Розподіл небезпечних кривих, спусків та підйомів, а також окремих дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в місцях концентрації ДТП на а/д М-06 від км 676+000 до км 690+000 (картографічні дані надано OpenStreetMap)

Таким чином, Великі дані можуть бути використані для оцінювання проектних рішень з будівництва автомобільних доріг на безпеку руху, оцінювання ефективності заходів з організації дорожнього руху, в тому числі і заспокоєння дорожнього руху.

Порівняння місць настання ДТП (рис. 20), зафіксованих інспекторами Національної поліції та користувачами безкоштовного соціального та навігаційного застосунку для мобільних пристроїв Waze, вкотре акцентує увагу на потребі фіксації просторових координат у картці обліку ДТП. А також на потребу в окремому полі цієї картки, яке вказуватиме напрям руху транспортних засобів. Це дозволить суттєво полегшити машинну обробку даних, оскільки аварійні ситуації можуть відрізнятись за напрямками руху не тільки на автомобільних дорогах Іа та Іб категорій.



Рис. 17. Порівняння місць настання дорожньо-транспортних пригод на а/д М-06 від км 23+400 до км 24+200 за даними Національної поліції та Waze (картографічні дані надано OpenStreetMap)

Підсумовуючи написане, стає зрозуміло, що ДТП є трагічним завершенням аварійної ситуації, вирішальним фактором виникнення якої є людський. А чим вища швидкість руху, тим більшою є ціна водійської помилки. Тобто, відсутність ДТП на тій чи іншій ділянці дороги не є підставою, щоб відмовитись від аналізу умов руху на ній.

Використання покілометрового розподілу ДТП та прийняття до уваги лише ДТП з постраждалими замість конкретизації місць ДТП та обліку усіх видів ДТП, було виправдане на попередніх етапах розвитку. А також за відсутності достатніх обчислювальних потужностей, механізмів та інструментів для виконання аналізу та досліджень.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Запропонований підхід дозволяє залучити до аналізу аварійності всю наявну в суспільстві інформацію про дороги, вулиці, учасників руху та умови руху. Це дозволить розглядати найдрібніші аспекти та весь спектр

факторів, які спричиняють виникнення аварійної ситуації, щоб запобігти її виникненню або знизити тяжкість наслідків.

Weaknesses. Необхідно відзначити, що проведене дослідження мало на меті зробити окремі узагальнення, окреслити вектор наукового пошуку та закласти напрямки наступних досліджень щодо розроблення нових або удосконалення чинних моделей, методів та алгоритмів аналізу аварійності.

Opportunities. Запропонований підхід дозволяє уникнути свідомого чи підсвідомого впливу учасників дорожнього руху на результати спостережень, чого часто неможливо досягти під час опитувань або імітації аварійних ситуацій.

Threats. Доступ до Великих даних часто обмежений їхніми власниками. Крім того, не завжди можливо вплинути на алгоритми збирання даних, з метою їх коригування або доповнення новими показниками.

8. Висновки

1. За допомогою Великих даних було отримано підтвердження, що людський фактор чинить вирішальний вплив на настання аварійної ситуації, а швидкість руху транспортного засобу є визначальною для тяжкості наслідків ДТП.

2. Чинні методи збирання, склад та зміст Великих даних на даний момент є достатніми для проведення порівняльного аналізу та формування загальних висновків. Тому у ході дослідження було встановлено, що швидкість руху є вагомим критерієм оцінки безпеки руху. Різка зміна швидкості руху (найчастіше, гальмування) є індикатором настання аварійної ситуації, що підтверджується розподілом місць концентрації ДТП. А самі ДТП мають тяжчі наслідки саме на ділянках доріг, де спостерігаються високі швидкості руху або дорожня інфраструктура «провокує» водіїв до перевищення дозволеної швидкості руху.

Також було встановлено, які саме проектні та технічні рішення, застосовані на дорогах, призводять до зростання аварійності, а які сприяють заспокоєнню руху. Було доведено, що встановлення обмежень швидкості руху лише за допомогою дорожніх знаків неефективне, як і використання дорожніх знаків з жовтою облямівкою.

Крім того, з огляду на множину елементів, які формують «людський фактор» або «умови руху», під час формування показника або індексу, за допомогою якого можна оцінювати рівень безпеки дорожнього руху не вдасться уникнути певних узагальнень. Ефективним результатом подальших досліджень буде встановлення критичних рівнів впливу кожного з цих елементів, а також формування алгоритму, який дозволить спрогнозувати та вчасно попередити про небезпечне поєднання умовно безпечних факторів.

Література

1. *Save LIVES – A road safety technical package* (2017). World Health Organization. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255199/9789241511704-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2. *Road safety annual report 2019* (2019). OECD/ITF. Available at: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/irtad-road-safety-annual-report-2019.pdf>

3. *Road traffic injuries: the facts* (2019). ASIRT, World Health Organization. Available at: <https://www.asirt.org/wp-content/uploads/2020/03/road-traffic-injuries-the-facts-infographicen.pdf>

4. *Monitorynh dorozhno-transportnykh pryhod na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia derzhavnoho znachennia Ukrainy za 2019 rik* (2020). DP «DerzhdorNDI», 73.

5. *Annual safety report 2018* (2018). Available at: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf

6. Iarmolinskii, A. I., Pugachev, I. N., Sheshera, N. G. (2016). Sovershenstvovanie metodiki ocnki avariinosti avtomobilnykh dorog po stepeni obespecheniia bezopasnosti dvizheniia v gorodskikh usloviiakh. *Vestnik TOGU*, 3 (42), 33–42.

7. Drew, D. R. (1968). *Traffic Flow Theory and Control*. McGraw Hill, 467.

8. Lanovyi, O. T. (2016). *Teoretychni osnovy ta praktychni metody zabezpechennia umov bezperervnoho, bezpechnoho ta zruchnoho rukhu transportnykh potokiv merezheiu avtomobilnykh doroh*. Kyiv, 399. Available at: http://diser.ntu.edu.ua/Lanovuy_dis.pdf

9. Eboli, L., Guido, G., Mazzulla, G., Pungillo, G., Pungillo, R. (2017). Investigating Car Users' Driving Behaviour through Speed Analysis. *PROMET – Traffic&Transportation*, 29 (2), 193–202. doi: <http://doi.org/10.7307/ptt.v29i2.2117>

10. Tay, R., Champness, P., Watson, B. (2003). Personality and speeding. *IATSS Research*, 27 (1), 68–74. doi: [http://doi.org/10.1016/s0386-1112\(14\)60060-1](http://doi.org/10.1016/s0386-1112(14)60060-1)

11. *Road safety audit guidelines for safety checks on new road projects* (2011). PIARC Technical committee C3.1 Road safety, 385.

12. Kaskiv, V., Vozniuk, A., Nahrebelna, L. (2020). Towards road safety audit on road network of ukraine. *Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 1 (261), 32–39. doi: <http://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-1-261-32-39>

13. *Why do road traffic accidents happen? Danish road traffic accident investigation board (AIB)* (2014). Available at: http://www.hvu.dk/SiteCollectionDocuments/HVUdec14_UK_HvorforSkerUlykkerne.pdf

14. Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (10), 2636–2641. doi: <http://doi.org/10.1073/pnas.1513271113>

15. Fisher D. L., Rizzo, M., Caird, J., Lee, J. D. (Eds.) (2011). *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. CRC Press, 752. doi: <http://doi.org/10.1201/b10836>

16. Wachnicka, J. (2018). *Mathematical models as practical tool for road fatalities forecasts on road network in regions*. MATEC Web of Conferences, 231, 01018. doi: <http://doi.org/10.1051/mateccconf/201823101018>