

Статистичний аналіз і прогнозування динаміки ДТП з постраждалими в Дніпропетровській області

Тетяна Русакова 

Purpose. The study aims to identify seasonal and weather-related factors influencing the number of road traffic accidents (RTAs) with casualties in Dnipropetrovsk Oblast, in order to provide a basis for short-term accident forecasting and improve the effectiveness of traffic safety prevention measures. **Design / Method / Approach.** The study is based on monthly statistical data from 2020 to 2025, sourced from the Patrol Police of Ukraine and the Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Oblast. The analysis integrates boxplot visualization, one- and two-way ANOVA, correlation analysis, and multiple regression analysis, accounting for temperature, precipitation, humidity, wind speed, and calendar month. **Findings.** A statistically significant impact of the calendar month was confirmed as the main seasonal factor. The regression model showed a clear link between RTAs and combined weather and calendar variables. Accident rates peaked in summer–autumn and dropped in winter–spring, with February showing the least variation. Monthly factors proved useful for short-term forecasting. Time series analysis enabled tracking trends (2020–2024) and projecting them through 2026. **Theoretical Implications.** The results enhance the understanding of the interplay between seasonal, calendar, and weather-related factors and accident rates within a regional context. **Practical Implications.** The findings can be used by local authorities, police, and road safety services to plan preventive measures during periods of increased accident risk. **Originality / Value.** A comprehensive approach is proposed for analyzing RTAs at the regional level, involving various types of statistical analysis and seasonal forecasting. The methodology can be adapted for other regions of Ukraine. **Research Limitations / Future Research.** The study is limited to the 2020–2025 period and does not account for social, behavioral, or infrastructure-related factors. Future research should incorporate additional explanatory variables and apply multifactor forecasting methods. **Article Type.** Applied Research.

Keywords:

road traffic accidents, road safety, analysis of variance, forecasting, temporal factors, seasonality, correlation and regression analysis

Мета. Дослідження спрямоване на виявлення сезонних та погодних чинників, що впливають на кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) з постраждалими у Дніпропетровській області, з метою створення основ для короткострокового прогнозування аварійності та підвищення ефективності профілактичних заходів безпеки дорожнього руху. **Дизайн / Метод / Підхід.** У роботі використано щомісячні статистичні дані за 2020–2025 роки з відкритих джерел Патрульної поліції України та органів державної статистики. Для аналізу використано поєднання boxplot-візуалізації, одно- та двофакторного дисперсійного аналізу, кореляційного та множинного регресійного аналізу з урахуванням температури, опадів, вологості, швидкості вітру та календарного місяця. **Результати.** Встановлено статистично значущий вплив місяця року як головного сезонного чинника. Побудована регресійна модель виявила значущий зв'язок між кількістю ДТП та сукупністю погодних і календарних змінних. Найвищий рівень аварійності виявлено в літньо-осінні місяці, найнижчий – взимку та навесні, найменша варіативність фіксується у лютому. Підтверджено доцільність врахування місячного чинника для короткочасного прогнозування. Візуалізація часових рядів дозволила відстежити динаміку з 2020 по 2024 роки та побудувати короткостроковий прогноз до кінця 2026 року. **Теоретичне значення.** Результати дослідження розширюють розуміння взаємозв'язку сезонних, календарних та погодних чинників з аварійністю в регіональних межах. **Практичне значення.** Результати можуть бути використані органами влади, поліцією, службами безпеки для планування профілактичних заходів в періоди підвищеної аварійності. **Оригінальність / Цінність.** Запропоновано комплексний підхід до аналізу ДТП на регіональному рівні із залученням кількох типів статистичного аналізу та сезонного прогнозування. Методика може бути адаптована до інших регіонів України. **Обмеження дослідження / Майбутні дослідження.** Дослідження обмежене часовими рамками 2020–2025 років. Не враховано соціальні, поведінкові та інфраструктурні фактори. У подальших дослідженнях доцільно враховувати додаткові факторні змінні та застосовувати методи багатофакторного прогнозування. **Тип статті.** Прикладне дослідження.

Ключові слова:

дорожньо-транспортні пригоди, безпека дорожнього руху, дисперсійний аналіз, прогнозування, сезонність, кореляційно-регресійний аналіз

Statistical Analysis and Forecasting of Injury-Related Road Accidents in Dnipropetrovsk Region

Contributor Details:

Tetiana Rusakova, Dr. Sc., Prof., Oles Honchar Dnipro National University: Dnipro, UA, rusakova_t@365.dnu.edu.ua

Дорожно-транспортні пригоди (ДТП) залишаються однією з ключових соціальних та економічних проблем як на національному рівні, так і на рівні окремих регіонів України. У Дніпропетровській області, що є одним із найбільших транспортних вузлів країни, щорічно фіксується значна кількість ДТП, які спричиняють втрати людських життів, травмування учасників дорожнього руху та матеріальні збитки. У 2023 році в Дніпропетровській області було зафіксовано 2 140 випадків ДТП, у результаті яких 283 особи загинули, а 2 555 отримали травми. У 2024 році ситуація ускладнилася: кількість дорожно-транспортних пригод зросла до 2 379 випадків, загинуло 299 осіб, а 2 852 постраждали внаслідок аварій. Така динаміка свідчить про зростання як загальної кількості ДТП, так і тяжкості їх наслідків, що підкреслює актуальність проблеми та потребу в ефективних заходах з підвищення безпеки дорожнього руху в регіоні.

Таким чином, незважаючи на реалізацію національних програм підвищення безпеки дорожнього руху, кількість ДТП залишається стабільно високою, що вимагає системного аналізу причин та закономірностей їх виникнення. Зокрема, відсутність адаптивних моделей прогнозування ускладнює ефективне планування заходів, спрямованих на попередження небезпечних ситуацій на транспорті. Зростання аварійності зумовлене комплексом технічних, організаційних, поведінкових і природно-кліматичних чинників. Недостатньо вивченим залишається вплив погодних, сезонних та календарних змін на динаміку ДТП. Брак регіональних досліджень із використанням статистичних методів ускладнює розробку ефективних стратегій управління дорожніми ризиками. Тому актуальним є проведення аналізу з використанням математичних методів оцінювання та прогнозування на прикладі конкретного регіону

Аналіз останніх досліджень

Основними факторами ризику в Україні залишаються незадовільний стан інфраструктури, порушення правил дорожнього руху та низька ефективність превентивних заходів (Lyashuk et al., 2024).

Комплексне дослідження рівня безпеки дорожнього руху в Україні, проведене із застосуванням системного підходу до оцінювання даних про ДТП, показало, що соціальний ризик залишається майже вдвічі вищим, ніж у провідних країнах (Semchenko et al., 2024). Смертність та інвалідність населення внаслідок дорожно-транспортних пригод завдають Україні значних матеріальних і людських втрат, що пов'язано з низьким рівнем правової свідомості громадян (Batyrgareieva et al., 2021). У ході дослідження клініко-анатомічних характеристик травм у постраждалих було встановлено, що найчастіше трапляються травми голови та шиї (94,60%), на другому місці – травми грудної клітки (63,17%), далі – травми кінцівок (53,33%), а найменш поширеними є травми живота (11,11%) (Guryev & Kushnir, 2024). Заходи контролю швидкості виявилися ефективними для її зниження, однак погане проєктування транспортних розв'язок і неадекватні штрафи можуть підвищувати ризик для учасників дорожнього руху. Самі по собі заходи безпеки, освіта та законодавство мають незначний ефект, проте у поєднанні можуть суттєво знизити рівень травматизму й смертності в ДТП (Gudugbe et al., 2023). Важливим напрямом є вивчення зарубіжного досвіду, зокрема європейських практик, таких як відеофіксація порушень, система штрафних балів та просвітницькі кампанії, що можуть бути ефективно адаптовані в українському контексті (Holina, 2024). Аналіз динаміки ДТП у Дніпропетровській області за 2017–2022 роки дозволив виявити тенденції змін і оцінити рівень впливу факторних змінних на кількість аварій (Rusakova, 2023).

Таким чином, постає необхідність у проведенні комплексного аналізу динаміки ДТП з постраждалими у Дніпропетровській області з урахуванням факторів впливу.

Мета та завдання

Мета дослідження – проаналізувати вплив сезонних і метеорологічних факторів на рівень ДТП з постраждалими, визначити найбільш значущі чинники, що впливають на аварійність, та здійснити прогнозування на основі статистичної кореляційно-регресійної моделі.

Для досягнення даної мети поставлено наступні завдання:

- проаналізувати статистику ДТП з постраждалими у Дніпропетровській області за 2020–2024 роки та перший квартал 2025 року, виявити основні сезонні й міжрічні коливання;
- здійснити однофакторний та двофакторний дисперсійний аналіз для визначення ступеня впливу чинників часу (місяць і рік) на рівень аварійності;
- провести кореляційний та регресійний аналіз для виявлення залежності між кількістю ДТП та метеорологічними змінними, а саме, температурою повітря, опадами, вологістю, швидкістю вітру;
- виявити взаємозв'язки та мультиколінеарність між факторними змінними і скоригувати модель для підвищення її точності;
- розробити математичну модель прогнозування кількості ДТП із урахуванням сезонних закономірностей.
- ідентифікувати періоди підвищеної аварійності для подальшого планування профілактичних заходів;
- цінити можливість використання результатів дослідження для управління безпекою дорожнього руху в інших регіонах України.

У дослідженні застосовано комплекс статистичних методів аналізу щодо активності ДТП в Дніпропетровській області за період 2020–2024 років. Для дослідження сезонної та міжрічної динаміки було використано: описову статистику для узагальнення основних характеристик вибірки; дисперсійний аналіз (ANOVA) для виявлення відмінностей у частоті ДТП між різними сезонами та роками; моделі часових рядів, зокрема ETS-модель (Error-Trend-Seasonality) для короткострокового прогнозування кількості ДТП з урахуванням сезонних коливань; методи візуалізації (графіки, діаграми), для наочного представлення динаміки та тенденцій; кореляційно-регресійний аналіз.

Матеріали та методи

Аналіз динаміки зміни ДТП з постраждалими

Для аналізу кількості ДТП з постраждалими у Дніпропетровській області використано статистичні дані Патрульної поліції України у Дніпропетровській області (Patrol Police of Ukraine, 2025) та Головного управління статистики у Дніпропетровській області (Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Region, 2024). З метою виявлення сезонних коливань кількості дорожно-транспортних пригод з постраждалими особами упродовж року було проведено графічний аналіз за допомогою boxplot-діаграми. Дослідження охоплює щомісячні дані за п'ятирічний період (2020–2024 рр.) по Україні. Результати аналізу наведено на рис. 1. Графік демонструє: середнє значення (позначене хрестиком), медіану (лінія в середині «коробки»), міжквартильний розмах (межі коробки), а також мінімальні й максимальні значення (вуса – тонкі лінії за межами коробки).

Такий підхід дозволяє наочно оцінити рівень розсіювання показників у кожному місяці, виявити наявність аномальних значень, а також порівняти сезонні характеристики різних періодів. Особливу увагу приділено місяцям з найбільшою варіативністю та відхиленнями від середніх значень, що свідчить про вплив додаткових факторів, таких як погодні умови, зміни інтенсивності руху або святкові періоди. Boxplot-діаграма також є підґрунтям для подальшого кількісного аналізу сезонного чинника за допомогою дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу, результати яких розглядаються у наступних розділах (рис. 1). Можна бачити, найбільша кількість ДТП з постраждалими спостерігається у літньо-осінній період – з червня по листопад. У цей період медіанні значення перевищують 190 випадків на місяць, при цьому варіативність (міжквартильний розмах) показників є незначною, що свідчить про стійку тенденцію до високого рівня аварійності. Найвищі середні значення зафіксовано в червні, липні, жовтні та листопаді.

Натомість найнижчі показники притаманні лютому, березню та квітню. Особливо варто відзначити березень, де спостерігається значна дисперсія значень, а також наявність викидів, що може бути пов'язано з метеорологічними умовами та зниженням мобільності населення в зимовий період.

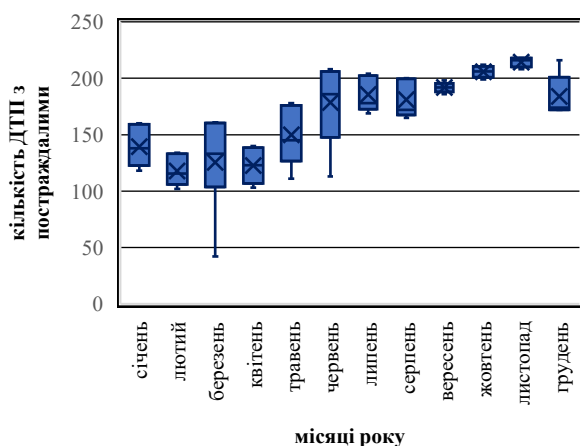


Рисунок 1 – Динаміка зміни кількості ДТП з постраждалими впродовж 2020–2024 років в Дніпропетровській області (Джерело: Автор)

Поступове зростання кількості ДТП від весни до осені може бути обумовлене збільшенням дорожньої активності, сезонними поїздками, а також специфікою організації дорожнього руху в періоди відпусток та початку навчального року. Водночас, стабільність високих показників у вересні–листопаді свідчить про вплив сталих зовнішніх факторів, таких як погодні умови, щоденна мобільність і поведінкові звички учасників дорожнього руху. Таким чином, сезонний аналіз ДТП з постраждалими дозволяє виявити пікові періоди аварійності, що може бути використано для планування превентивних заходів, підсилення контролю за дотриманням ПДР у літньо-осінній період, а також для формування інформаційних кампаній.

Однофакторний дисперсійний аналіз сезонної динаміки ДТП

З метою виявлення сезонної залежності кількості дорожньо-транспортних пригод з постраждалими упродовж календарного року було проведено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA), що дозволяє оцінити статистичну значущість відмінностей між місячними середніми значеннями. В якості факторної ознаки було обрано місяць року (12 груп), а як залежну змінну – кількість ДТП з постраждалими на місяць за період 2020–2024 рр. (по 5–6 спостережень у кожній групі). Нульова гіпотеза H_0 полягала у припущенні про відсутність впливу фактора "місяць" на рівень транспортних пригод.

Результати однофакторного дисперсійного аналізу показали, що отримане значення $F_{\text{стат.}} = 541,23$ істотно перевищує критичне значення $F_{\text{кр.}} = 1,93$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Крім того, $P_{\text{знач.}} (3,35 \times 10^{-7})$ набагато менше 0,05, що дозволяє з великою впевненістю відкинути нульову гіпотезу про рівність середніх значень. Це означає, що місяць року має статистично значущий вплив на кількість ДТП з постраждалими, тобто спостерігається чітка сезонна залежність.

Найвища середня кількість ДТП спостерігається у листопаді (214,4), жовтні (205,8), вересні (191,8). Найнижчі середні значення – у лютому (117,83), березні (125,5), квітні (122,5). Найменша варіативність показників зафіксована у вересні та листопаді (дисперсія – 19,2 та 18,8 відповідно), що вказує на стабільно високий рівень аварійності в ці місяці. Найбільша варіативність спостерігається у березні (дисперсія 1907,9) та червні (1469,8), що може свідчити про вплив додаткових зовнішніх факторів (зміни погодних умов, тощо).

Таким чином, результати дисперсійного аналізу підтверджують доцільність сезонного підходу до організації попереджувальних заходів, зокрема посилення контролю та інформаційної роботи в періоди пікового навантаження на транспортну систему (вересень–листопад), а також врахування факторів підвищеної варіативності у весняно-літній період.

Зіставлення з науковими дослідженнями та міжнародною практикою

Результати однофакторного дисперсійного аналізу щодо впливу місяця року на кількість ДТП з постраждалими в

Дніпропетровській області у 2020–2024 рр. узгоджуються з даними національних та міжнародних досліджень. Зокрема, сезонний пік аварійності у вересні–листопаді співпадає з результатами досліджень, проведених в країнах ЄС, де саме осінній період характеризується збільшенням кількості дорожньо-транспортних пригод. Причинами цього є скорочення світлового дня, несприятливі погодні умови, початок навчального року та зростання транспортної активності (ETSC, 2022; WHO, 2023). Низькі показники в зимово-весняні місяці (лютий, березень, квітень) також підтверджують тенденції: зменшення інтенсивності руху, обережна поведінка водіїв, введення сезонних обмежень сприяють зниженню аварійності. Водночас у літній період (червень–серпень) фіксується підвищена варіативність рівня ДТП, що може бути пов'язано з активним рухом, збільшенням туристичних потоків та використанням менш захищених видів транспорту (велосипеди, мотоцикли). Таким чином, отримані результати підтверджують загальнонаукову позицію щодо впливу сезонних чинників на безпеку дорожнього руху та обґрунтовують необхідність сезонного підходу до попереджувальних заходів у сфері безпеки дорожнього руху.

Однофакторний дисперсійний аналіз річної динаміки ДТП

Для оцінки динаміки зміни середньої кількості ДТП з постраждалими між роками з 2020 по 2024 роки було застосовано також однофакторний дисперсійний аналіз. Найменше середнє значення 143 ДТП спостерігається у 2022 році, а найбільше 182 ДТП у 2024 році. Однак результати дисперсійного аналізу свідчать, що відмінності не є статистично значущими. $F_{\text{стат.}} = 1,66$ менше критичного значення $F_{\text{кр.}} = 3,27$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Крім того, $P_{\text{знач.}} (0,1588)$ більше 0,05, що дозволяє з великою впевненістю відкинути нульову гіпотезу про рівність середніх значень. Таким чином, немає підстав стверджувати, що рік суттєво впливає на середню кількість ДТП з постраждалими, принаймні в межах наявних даних. Отже, щорічні коливання ймовірно є випадковими або обумовлені іншими факторами, такими як погодні умови, інфраструктурні зміни, соціальні події (війна) тощо.

Відповідність міжнародній практиці та науковим дослідженням

Результати проведеного однофакторного дисперсійного аналізу, які не виявили статистично значущих відмінностей у середній кількості ДТП з постраждалими між роками (2020–2024), також збігаються з результатами зарубіжних досліджень, які наголошують, що річна динаміка ДТП найчастіше формується під впливом комплексних факторів. До таких відносяться: сезонні коливання; локальні інфраструктурні зміни (WHO, 2023); зміна соціально-економічної ситуації (ETSC, 2022); поведінкові фактори та ефективність національних політик (Gudugbe et al., 2023; Holina, 2024).

У дослідженні European Transport Safety Council (ETSC, 2022) підкреслюється, що статистично значуща річна різниця у кількості ДТП часто не виявляється, якщо не враховуються локальні зміни в законодавстві, заходах контролю або транспортній політиці. Крім того, Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO, 2023) у своєму щорічному звіті зазначає, що зменшення або зростання кількості ДТП за роками без прив'язки до конкретних інтервенцій має тенденцію до статистичної нестабільності.

Двофакторний дисперсійний аналіз сезонної та річної динаміки ДТП

На наступному етапі дослідження було проведено двофакторний дисперсійний аналіз без повторень із включенням факторів "місяць" та "рік", що виявив статистично значущий вплив обох чинників на динаміку дорожньо-транспортних пригод (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні результати аналізу впливу факторів "рік" та "місяць" (Джерело: Автор)

Джерело варіації	$F_{\text{статистичне}}$	$P_{\text{значення}}$	$F_{\text{критичне}}$
місяці	22,3659	$1,7 \times 10^{-14}$	2,01405
роки	9,58405	$1,2 \times 10^{-5}$	2,58367

Зокрема, за результатами аналізу встановлено, що календарний місяць є високозначущим фактором ($F_{\text{стат.}} = 22,37$; $P_{\text{знач.}} < 0,00001$), що свідчить про виражену сезонну залежність кількості ДТП протягом року. Паралельно, фактор "рік" також продемонстрував статистично значущий вплив ($F_{\text{стат.}} = 9,58$; $P_{\text{знач.}} < 0,00002$), вказуючи на наявність міжрічних коливань у рівнях аварійності, ймовірно обумовлених соціально-економічними, інфраструктурними та правозастосовними змінами.

Порівняння значень $F_{\text{стат.}}$ свідчить, що сезонний (місячний) фактор чинить сильніший вплив на варіативність показників ДТП, ніж фактор «рік», що узгоджується з загальними закономірностями сезонності у транспортному середовищі. Висока варіативність у деяких місяцях (наприклад, у березні та червні) може бути пов'язана з несприятливими погодними умовами, інтенсивністю дорожнього руху.

Пояснення розбіжностей між результатами одного та двофакторного аналізу

У рамках однофакторного дисперсійного аналізу фактор "рік" не виявив статистично значущого впливу на середню кількість дорожньо-транспортних пригод ($P_{\text{знач.}} = 0.1588 > 0,05$).



Рисунок 2 – Динаміка зміни кількості ДТП впродовж 2020–2026 років в Дніпропетровській області (Джерело: Автор)

На графіку представлено щомісячну кількість дорожньо-транспортних пригод з постраждалими у Дніпропетровській області за період з січня 2020 року по грудень 2024 року, а також прогнозні значення до грудня 2026 року. Дані за січень–квітень 2025 року (сині трикутники) порівнюються з прогнозом, що дозволяє оцінити достовірність побудованої моделі.

Динаміка ДТП демонструє чітку виражену сезонну циклічність: максимальні показники фіксуються в осінні місяці, тоді як мінімальні спостерігаються у лютому–березні. Це підтверджується результатами двофакторного дисперсійного аналізу, згідно з яким вплив місяця виявився статистично значущим ($F_{\text{стат.}} = 22,37$; $P_{\text{знач.}} < 0,00001$). Значущим, хоча й менш вираженим, виявився і вплив року ($F_{\text{стат.}} = 9,58$; $P_{\text{знач.}} < 0,00002$), що вказує на наявність помірних змін між роками.

Моделі прогнозу адекватно відтворює сезонні коливання та відповідає реальним даним за 2025 рік, що свідчить про її надійність і можливість подальшого використання для прогнозування. Відносна похибка становить від 5% до 12%. Це свідчить про достатню точність ETS-моделі на короткострокову перспективу та підтверджує її надійність принаймні до кінця 2026 року. Загалом, результати аналізу свідчать про необхідність врахування сезонного фактора під час планування профілактичних заходів, спрямованих на зниження аварійності. Зокрема, доцільно посилювати заходи з безпеки дорожнього руху напередодні осіннього зростання аварійності.

Зв'язок між загиблими та постраждалими

У межах статистичного аналізу ДТП з постраждалими побудовано діаграми з вусами, що відображають розподіл кількості загиблих та травмованих на протязі чотирьох перших місяців року січні–квітні 2020–2025 років у Дніпропетровській області, базуючись на останніх даних поточного року (рис. 3–4). Цей тип графіка демонструє: середнє значення, медіану, міжквартильний розмах, а також мінімальні й максимальні значення.

Проте у двофакторному аналізі без повторень, де одночасно враховувалися вплив календарного місяця та року, вплив року став статистично значущим ($F_{\text{стат.}} = 9,58$; $P_{\text{знач.}} = 1,2 \times 10^{-5} < 0,00002$). Така розбіжність пояснюється тим, що в двофакторному аналізі ефект кожного чинника оцінюється з урахуванням іншого, що дозволяє точніше ідентифікувати вплив року, незалежно від сезонних коливань. Отже, у присутності сильної сезонної варіації (місяць), річна динаміка стає виразнішою лише після її контролю, що й забезпечує більшу статистичну чутливість аналізу.

ETS-прогнозування з урахуванням сезонної динаміки

На основі статистичних даних за 2020–2024 роки за допомогою методу експоненційного згладжування (ETS-прогнозування) було побудовано прогноз кількості ДТП до кінця 2026 року. Отриманий графік розподілу дозволяє не лише оцінити очікувану кількість ДТП, але й визначити довірчий інтервал прогнозу з ймовірністю 95%, що забезпечує високу вірогідність потрапляння фактичних значень у межі прогнозу. У моделі враховано сезонність (12 місяців), що підвищує її точність, оскільки вхідні дані мають річну циклічність (рис. 2).

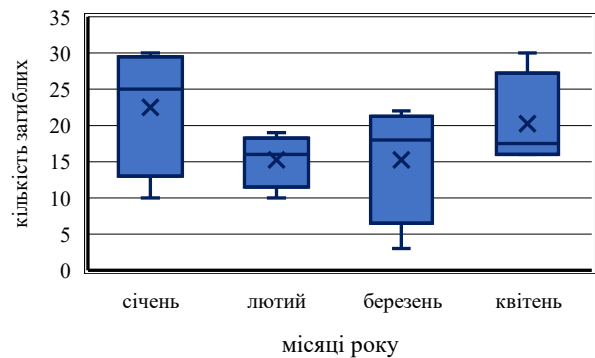


Рисунок 3 – Динаміка зміни кількості загиблих в ДТП впродовж січня–квітня 2020–2025 років в Дніпропетровській області (Джерело: Автор)

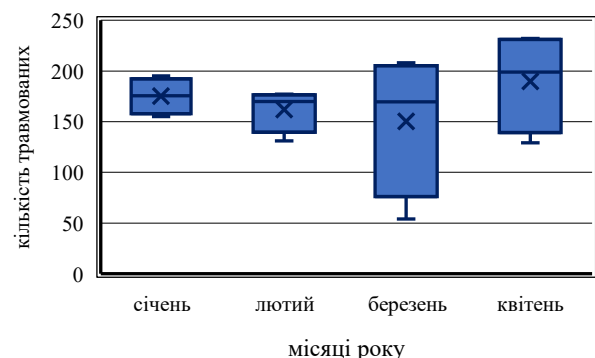


Рисунок 4 – Динаміка зміни кількості травмованих в ДТП впродовж січня–квітня 2020–2025 років в Дніпропетровській області (Джерело: Автор)

Ці результати свідчать про наявність вираженої сезонної динаміки смертності внаслідок ДТП, що варто враховувати при плануванні заходів, що запобігатимуть негативним подіям або зменшення ризиків їх виникнення. Аналіз діаграм (рис. 3, 4) свідчить про наявність спільних сезонних закономірностей та відмінностей у варіативності обох показників.

У січні фіксується найвища медіана загиблих і висока медіана травмованих, що вказує на підвищений рівень дорожньої небезпеки в умовах зимового періоду. Це корелює з такими несприятливими погодними умовами, як ожеледиця, короткий світловий день, низькі температури, що можуть ускладнювати дорожню обстановку й підвищувати тяжкість наслідків ДТП. Варіативність у січні залишається помірною для обох показників.

Лютий характеризується найменшим розкидом значень як для загиблих, так і травмованих, що свідчить про стабільніші умови з нижчими ризиками. Така повторювана стабільність дає підстави вважати лютий умовно референтним періодом для міжрічних порівнянь.

Березень демонструє найбільшу варіативність серед усіх місяців для обох показників. Розширення діапазону значень може бути наслідком переходу до весняного періоду, що супроводжується зміною дорожніх умов, активізацією трафіку та ймовірним зниженням обережності учасників дорожнього руху. У березні також простежується потенційно нелінійний взаємозв'язок: зростання кількості травмованих не завжди супроводжується аналогічним збільшенням кількості загиблих.

У квітні спостерігається найбільша медіана травмованих і високий рівень варіативності, що вказує на посилення ризику травматизму з настанням весняно-літнього періоду. Кількість загиблих у квітні також є високою, але коливається менш значно, ніж у березні.

Загалом, аналіз підтверджує наявність сезонних тенденцій у динаміці ДТП з постраждалими: зимові місяці пов'язані з підвищеним ризиком летальних випадків, тоді як весняні – з високою варіативністю травм і потенційно зростаючими показниками загальної аварійності.

Кореляційно-регресійний аналіз

Для встановлення зв'язків між результативним показником – загальною кількістю ДТП, та факторними змінними – температурою повітря, вологістю, опадами, швидкістю вітру, які потенційно впливають на залишкову дисперсію, виявлену в попередньому аналізі, було застосовано методи множинного кореляційно-регресійного моделювання.

Наявність та сила кореляційних зв'язків між факторними змінними і результативним показником (кількістю ДТП – $y(x_i)$) наведені в табл. 2. До розгляду було включено такі змінні: x_1 – температура повітря, x_2 – кількість опадів, x_3 – вологість, x_4 – швидкість вітру, x_5 – календарний місяць, x_6 – рік. Незважаючи на те, що у попередніх дослідженнях встановлено існування сезонного та річного впливу на кількість ДТП, початковий кореляційний аналіз показав низький рівень зв'язку між роком і іншими змінними, що стало підставою для вилучення змінної x_6 з подальшого аналізу. Крім того, змінні «вологість» та «швидкість вітру» продемонстрували або надто високі значення коефіцієнтів кореляції, вказуючи на наявність мультиколінеарності, або навпаки слабкий зв'язок. Тому було прийнято рішення використати їх комбінацію у вигляді інтегрованого показника $x_3 \cdot x_4$, що забезпечило більш стабільні результати, підтверджені кореляційною матрицею (табл. 2).

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції між метеорологічними параметрами та кількістю ДТП (Джерело: Автор)

	x_1	x_2	$x_3 \cdot x_4$	x_5	$y(x_i)$
x_1	1	-0,5418	-0,6297	0,6502	0,4302
x_2		1	0,5297	-0,7231	0,6755
$x_3 \cdot x_4$			1	-0,4341	0,5218
x_5				1	0,7129
$y(x_i)$					1

З аналізу видно, що найсильніший позитивний зв'язок з рівнем ДТП має змінна x_5 (місяць) ($r = 0,7129$), що вказує на виражену сезонність аварійності. Комбінований показник $x_3 \cdot x_4$ (вологість · швидкість вітру) має помірну позитивну кореляцію

з $y(x_i)$ ($r = 0,5218$), що підтверджує доцільність об'єднання цих двох змінних для уникнення мультиколінеарності й посилення аналітичної чутливості. Змінна x_2 (кількість опадів) також демонструє помірний позитивний зв'язок із кількістю ДТП ($r = 0,6755$), що узгоджується з припущенням про негативний вплив несприятливих погодних умов на безпеку руху. Температура повітря (x_1) має середній зв'язок з рівнем ДТП ($r = 0,4302$), що може бути пов'язано зі збільшенням активності на дорогах у теплі періоди.

З метою кількісної оцінки впливу факторних змінних було побудовано множинну лінійну регресійну модель. Статистичні характеристики моделі свідчать про її добру якість. Значення множинного коефіцієнта кореляції склало $R = 0,763$, а коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,682$, що означає, що 68,2% варіації кількості ДТП пояснюється включеними у модель чинниками. Нормований коефіцієнт $R^2 = 0,654$, що враховує кількість предикторів і підтверджує достовірність отриманих результатів. Отримане значення F -критерію Фішера виявився високим $F = 20,57$ при значенні $p < 0,12 \cdot 10^{-9}$, що дозволяє стверджувати про статистичну значущість регресійної моделі. Рівняння множинної регресії, що описує залежність кількості ДТП від основних факторів впливу має наступний вид:

$$y(x_i) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5, \quad (1)$$

де x_1 – температура повітря, x_2 – кількість опадів, x_3 – вологість, x_4 – швидкість вітру, x_5 – календарний місяць.

Відповідні коефіцієнти регресії: $a_0 = 84,35$; $a_1 = 2,62$; $a_2 = 0,33$; $a_{34} = 0,19$; $a_5 = 6,76$. Ймовірності, що дозволяють визначити значущість коефіцієнтів регресії для даної регресійної моделі, а саме P -значення, становлять для кожного коефіцієнта відповідно: 0,0007, 0,0038, 0,0437, 0,0278, $5,6 \cdot 10^{-8}$. Усі P -значення $< 0,05$ або в межах цього значення, що говорить про значущий вплив усіх коефіцієнтів на результуючу змінну $y(x_i)$.

У результаті регресійного аналізу було виявлено, що серед метеорологічних факторів найбільш суттєвий вплив на рівень ДТП має календарний місяць ($a_5 = 6,76$; $p = 5,6 \cdot 10^{-8}$), що також підтверджує наявність вираженої сезонності. Зростання температури повітря, має позитивний і статистично значущий вплив на кількість ДТП ($a_1 = 2,62$; $p = 0,0038$), що може свідчити про підвищення аварійності в тепліші періоди, ймовірно, через зростання інтенсивності руху. Вплив опадів, хоча і статистично значущий, має менший ефект. Запропоноване введення інтегрованого метеорологічного показника, дозволило врахувати мультиколінеарність між вологістю та швидкістю вітру і забезпечило додаткову точність моделі.

За рівням регресійної моделі (1) було отримано розрахункові значення $y(x_i)_{\text{розрах.}}$ та обчислено відносну похибку розрахункових даних відносно вихідних даних: середнє значення похибки – 8 %, а максимальне значення похибки – 13 %. Можна стверджувати, що математична регресійна модель (1) з точністю на 92 % описує вихідні дані, що говорить про її добру адекватність.

Узагальнені результати дослідження

1. Встановлено статистично значущий вплив часу (місяця і року) на кількість ДТП з постраждалими у Дніпропетровській області впродовж 2020–2024 років та у першому кварталі 2025 року. Обидва чинники важливі, проте сезонний (місяць) має більш виражений ефект, що підтверджено як одно- та двофакторним дисперсійним аналізом, так і регресійною моделлю, де коефіцієнт для змінної «місяць» був найвищим і найбільш значущим ($p < 0,0000001$).

2. Порівняння одно- і двофакторного дисперсійного аналізу виявило домінування короткострокових (сезонних) змін над міжрічною варіацією, що є підставою для зосередження профілактичних заходів саме у періоди сезонного підвищення ризику ДТП.

3. Графічний аналіз та ETS-прогнозування дали змогу виявити типові щомісячні закономірності зміни рівня аварійності та побудувати короткостроковий прогноз до кінця 2026 року. Дані підтверджують зростання аварійності у вересні–листопаді, підвищену варіативність у літній період і зниження в зимово-весняні місяці.

4. Результати регресійного аналізу підтвердили суттєвий внесок метеорологічних змінних: температури, опадів, інтегрального показника вологості та швидкості вітру

5. Практична значущість результатів полягає в можливості: оперативного прогнозування аварійності на основі погодних і календарних даних; оптимізації профілактичних заходів у сезон ризику (вересень–листопад); можливості адаптації методики до інших регіонів України з урахуванням локальних кліматичних та інфраструктурних особливостей.

6. Також визначається сезонний характер ДТП з постраждалими, а саме, у зимовий період зростає ризик летальних наслідків, натомість навесні спостерігається підвищена варіативність травм і загальної аварійності.

Висновки

Дослідження дозволяє точно визначити місяці з підвищеним ризиком дорожньо-транспортних пригод. Поєднання дисперсійного аналізу з візуалізацією часових рядів є ефективним інструментом для оцінки впливу часових чинників на ДТП, який може бути адаптований до інших регіонів. Підтверджено, що сезонний чинник (місяць року) має більший вплив на кількість ДТП, ніж міжрічні коливання, що дозволяє робити акцент на короткостроковому управлінні ризиками. Регресійно-кореляційний аналіз показав високий рівень зв'язку між кількістю ДТП та поєднаним впливом температури повітря, опадів, вітрового навантаження (% V) та місяця. Математична модель демонструє достатню якість ($R^2 = 0.58$), що свідчить про можливість використання результатів для короткострокового прогнозування динаміки ДТП з урахуванням погодних і сезонних факторів.

References

- Batyrgareieva, V. S., Shramko, S. S., & Samoilova, O. M. (2021). Mortality and injury in Ukraine as a result of traffic accidents in measuring of public health: to the analysis of social– legal and criminological problem. *Wiadomości Lekarskie*, 74(11), 2870–2876. Internet Archive. <https://doi.org/10.36740/wlek202111202>
- ETSC. (2022). *18th Annual Road Safety Performance Index (PIN Report)*. ETSC. <https://etsc.eu/18th-annual-road-safety-performance-index-pin-report>
- Gudugbe, S., Yeboah, D. K., Konadu, P., Awoonor-Williams, R., Clegg-Lamptey, J. N. A., Rahman, G. A., & Kokor, D. A. (2023). Approaches to the Effective Prevention of Road Traffic Injuries in Sub-Saharan Africa: A Systematic Review. *Open Journal of Social Sciences*, 11(02), 323–344. <https://doi.org/10.4236/jss.2023.112021>
- Guryev, S. O., & Kushnir, V. A. (2024). Analysis of clinical and anatomical characteristics of road transport injuries in the conditions of a rural location. Anatomical verification of damage [In Ukrainian]. *Reports of Vinnytsia National Medical University*, 28(1), 6–11. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28\(1\)-01](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2024-28(1)-01)
- Holina, V. V. (2024). The influence of foreign practice of ensuring road traffic safety on national concepts of prevention of traffic offenses in Ukraine. *Issues of Crime Prevention*, 47, 124–132. <https://doi.org/10.31359/2079-6242-2024-47-124>
- Lyashuk, O., Mironov, D., Martyniuk, V., Aulin, V., Tson, O., & Maruschak, P. (2024). Risk analysis of road traffic accidents in Ukraine. *Transport*, 39(4), 350–359. <https://doi.org/10.3846/transport.2024.23190>
- Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Region. (2024). *Environment* [In Ukrainian]. Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Region. <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ns>
- Patrol Police of Ukraine. (2025). *Statistics* [In Ukrainian]. Patrol Police of Ukraine. <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka>
- Rusakova, T. (2023). Assessment of Road Traffic Danger [In Ukrainian]. *Challenges and Issues of Modern Science*, 1, 574–579. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/107>
- Semchenko, N., Nikolaienko, I., Maslak, A., & Khara, M. (2024). Assessing the dynamics of changes in road safety indicators in Ukraine [In Ukrainian]. *Transport systems and transportation technologies*, 28, 52–59. <https://doi.org/10.15802/istt2024/312024>
- WHO. (2023). *Global status report on road safety 2023*. WHO. <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>