

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-118.2-104-115

**ІСТОРИЧНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ЗВАЖУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ У РУСІ (WEIGH-IN-MOTION)**

**HISTORICAL DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR WEIGHING TRANSPORT
VEHICLES IN MOTION (WEIGH-IN-MOTION)**



Райковський Віталій Францевич, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу технологій Центру досліджень розвитку та утримання об'єктів інфраструктури, Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури», Київ, Україна, e-mail: vintikntu@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>



Шниг Альона Юрійвна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: alena-87@ukr.net, тел. +380988123982

<https://orcid.org/0000-0002-6909-7088>



Малініч Віталій Веніамінович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: Malinich3004@gmail.com, тел. +380688529077.

<https://orcid.org/0009-0003-4678-5149>

Анотація: У статті виконано аналіз історичного розвитку технологій зважування транспортних засобів у русі (Weigh-in-Motion, WIM) від 1950-х років до сьогодення. Наведено огляд основних типів систем WIM (дорожні, мостові, бортові, низько- та високошвидкісні) та сучасних датчиків. Особливу увагу приділено впровадженню WIM в Україні у 2019–2024 рр., впливу повномасштабного вторгнення на функціонування мережі та заходам з відновлення. За даними офіційних звітів, після запровадження автоматичних штрафів частка перевантажених вантажних транспортних засобів зменшилась з 30 % до 5-8 %. У роботі запропоновано напрями вдосконалення програмного забезпечення та методології аналізу даних WIM для науково-дослідних і проєктних потреб.

Ключові слова: зважування в русі, динамічне навантаження, статичне навантаження, навантаження на вісь, маса транспортного засобу, технології вимірювання (низькошвидкісне та високошвидкісне).

Вступ. Об'єкти транспортної інфраструктури постійно піддаються впливу різних антропогенних та природних факторів. Одним з основних чинників, що впливають на руйнування та довговічність дорожньої мережі є великоваговий транспорт.

Система автоматичного зважування у русі WIM (*Weighing-in-motion*) являється універсальним інструментом до збирання, накопичення та аналізу даних про інтенсивність, склад транспортного потоку, визначення параметрів транспортних засобів (ширина, довжина, висота, швидкість руху), а також визначення навантаж на кожен вісь та загальної маси.

Моніторинг фактичного транспортного потоку на дорожній мережі в режимі реального часу та детальна інформація про транспортні потоки є важливою складовою транспортних досліджень, які допомагають оптимізувати планування та проектування майбутньої дорожньої мережі. Організації, відповідальні за будівництво та утримання доріг і мостів, потребують реалістичної інформації про фактичне транспортне навантаження на їхню мережу, що є важливою складовою як при проектуванні об'єктів транспортної інфраструктури (нових доріг і мостів), так і для планування технічного обслуговування існуючої мережі автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу.

Історичний огляд

Вперше WIM був застосований у США в 1950-х роках професором Клайдом Лі і використовувався в дорожніх випробуваннях AASHTO (AASHO, 1961), які розпочалися в 1958 році (рис. 1). Спочатку він використовувався в основному для збору великих зразків динамічних навантажень на вісь і транспортний засіб для цілей проектування дорожнього покриття. Першим типом датчиків для динамічного зважування були згинальні пластини.



Рисунок 1 – Перший експериментальний майданчик зважування в русі, США 1958 р. [1]

Figure 1 – The first experimental weigh-in-motion site, USA, 1958.

З 1970-х років в Європі були розроблені нові технології датчиків WIM, такі як дротяні, стрічкові та пруткові датчики на основі емнісного, п'єзоелектричного (керамічного, потім полімерного, а потім кварцового) і, нарешті, волоконно-оптичного зондування. Мостовий WIM також був представлений у США наприкінці 1970-х років, а потім отримав подальший розвиток в Австралії та Європі в 1990-х роках. У 1970-х і 1980-х роках переважно використовували дані WIM:

- як вхідні дані для проектування та утримання дорожнього покриття, а також для калібрування кодів проектування мостів (наприклад, канадський код, Єврокод),
- для оцінки мостів, розрахунку залишкового втомного ресурсу, екстремальних навантажень і навантажувальних ефектів,
- для моніторингу дорожнього руху та збору статистики вантажних автомобільних перевезень.

У 1990-х роках у Північній Америці було опубліковано перший стандарт WIM (ASTM-E1318-09, 2009), а в рамках проекту COST 323 було розроблено проект європейських специфікацій WIM, а також звіти про загальноєвропейські випробування системи WIM (COST 323, 2002). Європейський дослідницький проєкт WAVE (2002) та інші ініціативи забезпечили вдосконалення технологій та нових методологій WIM. Ці перші випробування були проведені з поєднанням систем WIM з відео в якості інструменту, що допомагає контролювати перевантаження (WIM-NL, 2002). На початку 2000-х років точність і надійність систем WIM значно підвищилися, і вони стали частіше використовуватися для скринінгу перевантаження і попереднього відбору для придорожнього вагового контролю (віртуальні станції зважування). OIML R134 (2009) був опублікований як міжнародний стандарт низькошвидкісних систем WIM для легальних застосувань, таких як плата за проїзд за вагою і прямий ваговий контроль. Зовсім недавно, стандарт NMi WIM (2016) пропонує основу для впровадження високошвидкісних систем WIM для прямого автоматичного контролю та безперешкодного збору плати за проїзд за вагою. Крім того, бортові системи WIM зараз використовуються не тільки в комерційних цілях, але й в державних установах. Більше інформації про історію WIM можна знайти в перелічених звітах WAVE і COST 323.

Ключові стандарти: – ASTM E1318 (1990, остання редакція 2009) – COST 323 (1993–2002) – європейські специфікації WIM – OIML R134 (2006) – низькошвидкісні системи – Специфікація високошвидкісного WIM (2016–2023).

Технології зважування транспортних засобів

Незалежно від використовуваної технології вимірювання, існує кілька різних способів вимірювання повної маси транспортного засобу, навантаження на вісь і навантаження на групу осей транспортного засобу (рис.2).

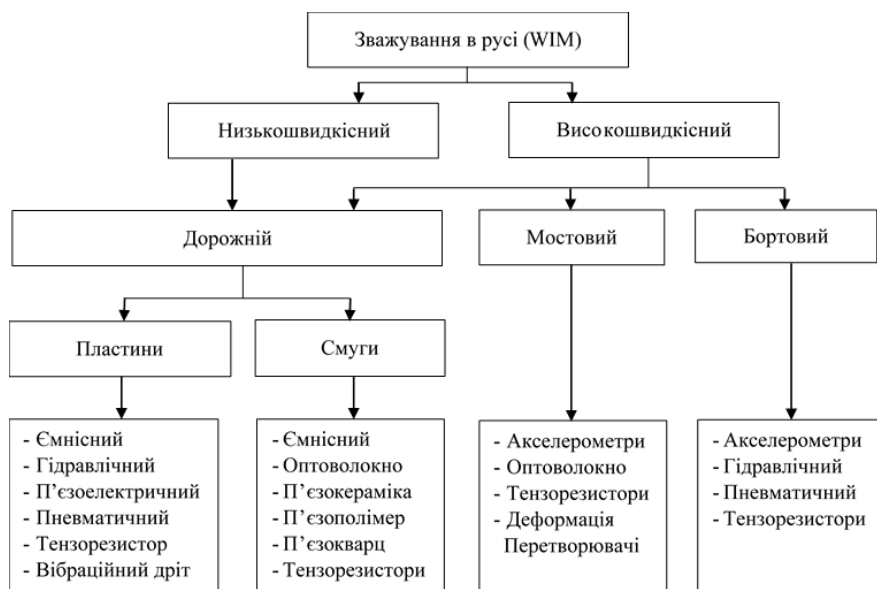


Рисунок 2 – Технології, що використовуються в системах WIM [2]

Figure 2 – Technologies used in WIM systems

Дорожні WIM системи

Створення Системи WIM в Україні здійснюється відповідно до Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2018 року № 382, з метою збереження дорожнього покриття та скорочення видатків на утримання автомобільних доріг загального користування державного значення.

Впродовж 2019-2020 років, в рамках реалізації Пілотного проекту «Проектування постачання і монтаж шести майданчиків зважування в русі на дорогах навколо Києва та допоміжного офісу» було споруджено 6 майданчиків WIM та Центр оброблення даних.

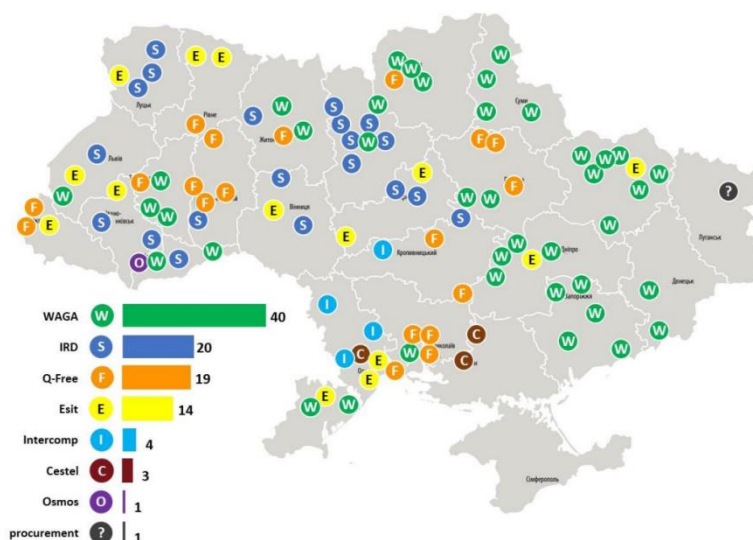


Рисунок 3 – Розподіл майданчиків WIM за постачальниками технічних рішень
Figure 3 – Distribution of WIM sites by technical solution providers

Наприкінці 2019 року Укравтодором спільно зі Службами автомобільних доріг в областях та Укртрансбезпекою було складено перелік ділянок (приблизно 250) [7-11] автомобільних доріг загального користування, рекомендованих для спорудження майданчиків WIM з огляду на наступні причини:

- зазнають значного руйнівного впливу від великовагових транспортних засобів;
- знаходяться поблизу підприємств або організацій, які створюють або поглинають великовагові транспортні потоки, наприклад, порти, елеватори, кар’єри тощо;
- мають прийнятні геометричні характеристики, точки підключення до електромереж та ліній зв’язку;
- були нещодавно відремонтовані або ремонтні роботи заплановані на найближчі роки, для забезпечення необхідних характеристик дорожнього одягу: міцність та рівність.

Спорудження майданчиків WIM впродовж 2020-2021 років здійснювалось на виконання:

- Указу Президента України № 837/2019 від 08 листопада 2019 року в частині налагодження ефективного габаритно-вагового контролю на автомобільних дорогах;
- кроку 270 Плану пріоритетних дій Уряду на 2020 рік, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 09 вересня 2020 року № 1133 «Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2020 рік»;

– кроку 300 Плану пріоритетних дій Уряду на 2021 рік, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 березня 2021 року № 276-р «Про затвердження плану пріоритетних дій Уряду на 2021 рік»;

– завдання 3 «Забезпечення безпеки на дорогах та безпеки дорожньої інфраструктури» заходу 7 «Влаштування автоматичних пунктів (майданчиків) для забезпечення габаритно-вагового контролю (комплексів зважування у русі WIM)» Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 21 грудня 2020 року № 1287.

На рис. 3 наведено розподіл майданчиків WIM за постачальниками технічних рішень.

З початку повномасштабного вторгнення 24.02.2022 відбулись зміни, які позначились і на роботі системи WIM, частину з майданчиків якої було зруйновано внаслідок бойових дій, терористичних актів та диверсій, спричинених військовою агресією російської федерації.

Відновлення роботи майданчиків WIM за основними напрямками перевезень вантажів (окрім зони бойових дій) розпочалося в травні 2024 р. У зв'язку зі стрімким зростанням кількості вантажних перевезень (зокрема зерна) з центральної частини України до західного кордону, на першому етапі було відновлено роботу 25 майданчиків WIM, споруджених на маршрутах до кордонів з країнами ЄС.

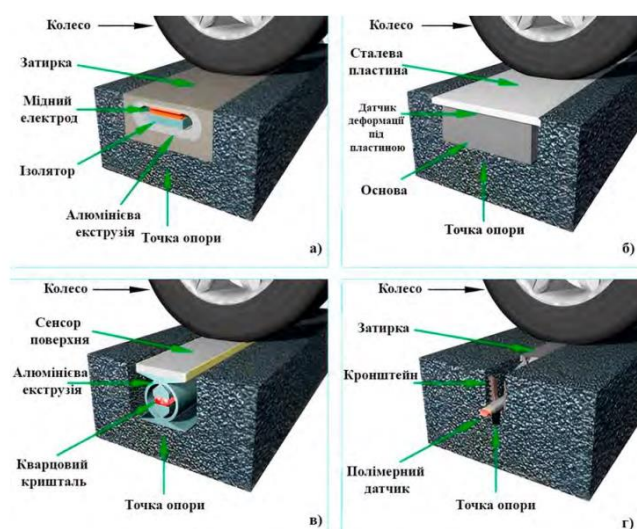


Рисунок 4 – Технології датчиків WIM для дорожнього покриття: (а) ємнісний датчик, (б) згинаюча пластина, (в) п'єзокварцовий, (г) п'єзоелектричний або п'єзополімерний стрижень

Figure 4 – WIM sensor technologies for road surfaces: (a) capacitive sensor, (b) bending plate, (c) piezoelectric quartz, (d) piezoelectric or piezopolymer rod

Станом на грудень 2024 року:

- 57 майданчиків WIM відновили роботу до можливості використання даних для накладання штрафів за порушення габаритно-вагових обмежень;
- 2 майданчики WIM перебували на стадії сертифікації перед введенням в експлуатацію;
- 10 майданчиків WIM потребували відновлення у зв'язку з пошкодженням внаслідок бойових дій;
- 11 майданчиків WIM перебували на етапі передавання на баланс Служб відновлення у відповідних областях;
- 1 майданчик WIM перебував на етапі підключення до мереж зв'язку та енергоживлення;
- 17 майданчиків WIM перебували на стадії припинення спорудження/монтажу у зв'язку з відсутністю фінансування;

- 4 майданчики WIM перебували на тимчасово окупованих територіях;
- 1 майданчик WIM перебував на етапі скасованих закупівель.

У зв'язку з воєнним станом та відсутністю фінансування спорудження нових майданчиків WIM у 2025 році не здійснювалось.

У дорожній системі України на комплексах WIM вимірювальні датчики встановлюються у дорожньому покритті (рис.4) [3]. Датчики вимірюють динамічну вертикальну складову сили, що діє на кожне колесо транспортного засобу, коли автомобіль проїжджає над датчиками системи. Вимірні зусилля в шинах разом з іншими виміряними або розрахованими параметрами, такими як швидкість і поздовжнє положення транспортного засобу в смузі руху, потім використовуються для оцінки повної маси і навантажень, що припадають на кожне колесо, вісь і групу осей відповідного статичного транспортного засобу.

Система автоматичного зважування у русі WIM система складається з комплексу вагових датчиків, які влаштовані у дорожній покритві та офісу (центрального серверу) (рис. 5), який включає блоки збирання, аналізування, оброблення даних та їх передачі за встановленими протоколами.

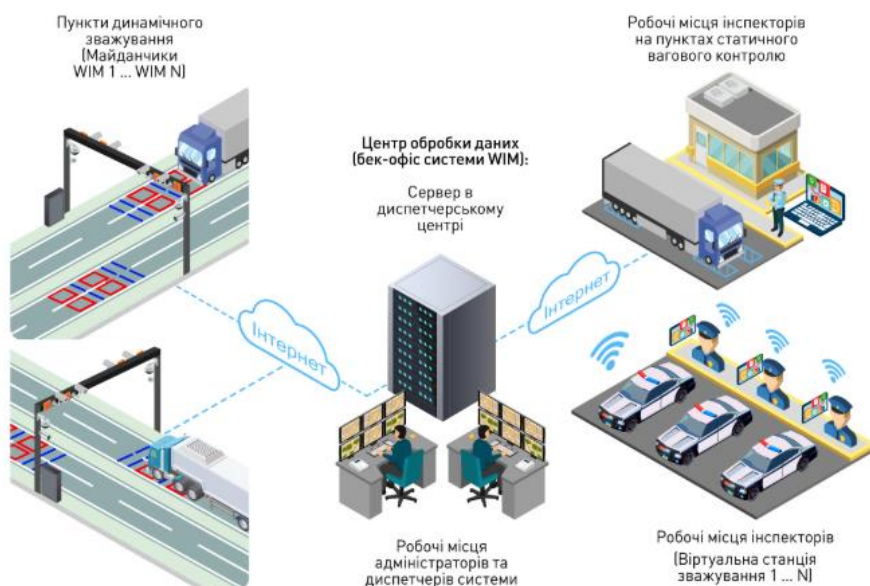


Рисунок 5 – Архітектура автоматизованої системи динамічного зважування [4]
Figure 5 – Architecture of an automated dynamic weighing system

Низькошвидкісне зважування

При низькошвидкісному WIM (LS-WIM) зважування виконується в спеціальній контрольованій зоні, переважно поза смугою руху, на рівній і гладкій платформі (як правило, бетонній), довжиною понад 30 м. У зоні зважування контролюється швидкість і поперечне переміщення транспортних засобів, що проїжджають, з метою усунення динамічного впливу транспортного засобу і, таким чином, забезпечення рівності сил удару в шинах зі статичним навантаженням на колеса (рис. 6, 7). Системи LS-WIM – це здебільшого тензометричні ваги, що базуються на різних технологіях вимірювання.



Рисунок 6 – LS-WIM система на основі пластин
Figure 6 – LS-WIM plate-based system [5]



Рисунок 7 – Пункт ГВК на автомобільній
дорозі М-05 Київ-Одеса км 210+600
Figure 7 – DWK checkpoint on the road M-05
Kyiv-Odesa, km 210+600

Високошвидкісне зважування

При високошвидкісному WIM (HS-WIM) зважування проводиться на відкритих смугах руху на нормальній швидкості (тобто 30 км/год або вище) і в умовах вільного потоку (рис. 8, 9). На вимірювання впливає динаміка транспортного засобу (вертикальні прискорення), яка залежить від:

- геометрії дорожнього покриття перед ділянкою WIM (сюди входить рівність поверхні покриття, колійність, нерівності, осідання, вибоїни та ухили дороги);
- порушення руху транспортного засобу, спричинені манерою водіння, прискоренням, гальмуванням, рульовим керуванням та умовами навколишнього середовища, такими як вітер, дощ, сніг, ожеледиця;
- реакції підвіски транспортного засобу на вищезгадані впливи (вона залежить від маси транспортного засобу, типу вантажу, розподілу навантаження на вісь і системи підвіски транспортного засобу).



Рисунок 8 – WIM система на основі смуг
Figure 8 – WIM system based on strips

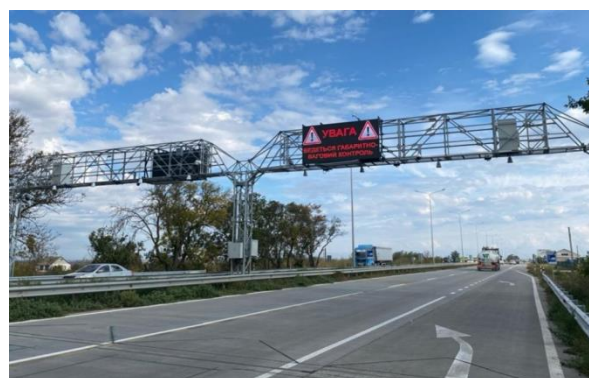


Рисунок 9 – WIM-комплекс (WIM 52) М-14
(км 126+562) у Миколаївській області
Figure 9 – The WIM complex (WIM 52) M-14
highway (km 126+562) in the Mykolaiv region

Що вимірює система WIM?

Окрім вимірювання повної маси транспортного засобу, навантаження на вісь і часто навантаження на колеса транспортних засобів, що проїжджають повз, система WIM також визначає інші параметри, пов'язані з транспортним засобом та його проїздом через систему WIM. Все це об'єднується в те, що часто називають «Звітом про транспортний засіб», який складається з:

- унікального номеру запису;

- місцезнаходження системи WIM, включаючи смугу та напрямок руху транспортного засобу;
- дати та часу проїзду;
- швидкості транспортного засобу;
- відстані між осями;
- колісної бази та/або довжини транспортного засобу;
- класифікації транспортного засобу.

Залежно від застосування, система WIM може бути поєднана з іншими датчиками або інтелектуальними транспортними системами (ITS). У таких випадках запис про транспортний засіб може бути розширений:

- температура дорожнього покриття або мосту в одному або декількох місцях;
- прогин дорожнього покриття;
- висота та/або ширина транспортного засобу;
- виявлення однієї/двох шин;
- розподіл тиску в шинах;
- бокове положення транспортного засобу в смугі руху;
- ідентифікаційний номер (мітка) транспортного засобу;
- загальне зображення транспортного засобу;
- номерний знак або реєстраційний номер;
- зображення та код ідентифікаційного знаку небезпечного вантажу;
- підпис транспортного засобу;
- коефіцієнт динамічного підсилення мосту.

Зважування в русі – процес вимірювання динамічних навантажень на автомобільні шини рухомого транспортного засобу для оцінювання загальної маси транспортного засобу і частки цієї маси, що припадає на кожну вісь чи групу осей відповідного транспортного засобу з урахуванням параметрів відстані між осями (рис. 10).

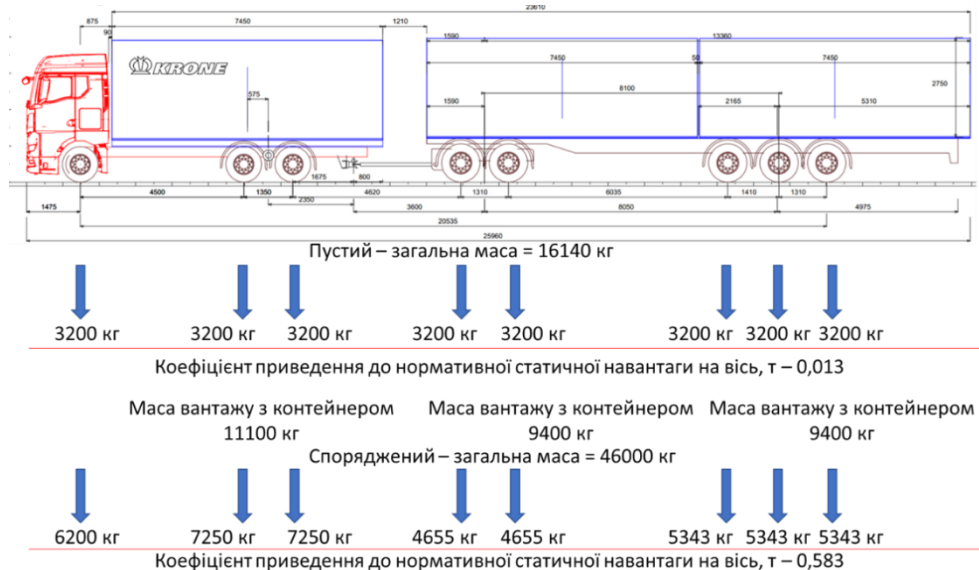


Рисунок 10 – Розподілення навантаг на осі автопоїзда пустого та у спорядженому стані
Figure 10 – Load distribution on the axles of a road train when empty and loaded

На рисунку 11 представлені результати, отримані на основі вимірних даних WIM ($ESAL_{WIM}$), що порівнюються з розрахунковим еквівалентним навантаженням ($ESAL_{розрахункове}$).

ESAL (Equivalent Single Axle Load) розшифровується як еквівалентне навантаження на одиночну вісь і використовується для кількісної оцінки пошкоджень дорожніх покриттів внаслідок дії на нього проїжджаючого транспорту. Вимірюється в одиницях еквівалентних навантажень на одиночну вісь (ESALs). Найбільш поширеною одиницею є навантаження 80 кН еквівалентне навантаженню на одиночну вісь. Тобто, значення ESAL вказує на те, скільки еквівалентних навантажень на одиночну вісь (з вантажем 80 кН) пройшло по дорозі.



Рисунок 11 – Різниця розрахункових та вимірних навантажень на дорожній одяз [6]
 Figure 11 – The difference between calculated and measured loads on road surfaces [6]

Мостові WIM системи

Технологію зважування мостів у русі Bridge WIM (B-WIM) було запроваджено в США наприкінці 1970-х років професором Фредом Мозесом. Існуючий міст використовується як ваги для визначення навантаження на осі та повної ваги вантажівок, що проїжджають повз. Це робиться шляхом моніторингу деформацій у мостовому полотні (балках або плиті), які викликаються транспортними засобами, що перетинають його. Найпоширенішими датчиками, що використовуються, є тензодатчики та перетворювачі деформації. Значного прогресу в точності та ефективності B-WIM було досягнуто в 1990-х роках завдяки кільком дослідницьким проектам, що фінансуються Європейською Комісією. Сьогодні системи B-WIM використовуються та розвиваються в багатьох країнах світу.

Дані сучасних системи B-WIM мають ті ж показники для кожного транспортного засобу, що й більш поширені дорожні системи WIM. Крім того, вони також проводять вимірювання деформацій, ліній впливу, коефіцієнтів розподілу навантаження та динамічні навантаження, що покращує структурний аналіз мостів.

B-WIM – це спеціальний тип динамічної системи зважування, де датчики кріпляться до софіту (нижньої сторони плити та/або балок) моста, віадука або водопропускної труби (рис. 12). Датчики зазвичай вимірюють деформації, спричинені вигином мосту під дією транспортних засобів, що проїжджають повз. Знаючи ключові характеристики поведінки мосту під навантаженням, так звані лінії впливу, система розраховує повну масу і навантаження на вісь транспортного засобу, що проїжджає повз. По суті, міст працює як великі динамічні ваги. На додаток до тієї ж інформації про транспортний засіб, що надається системами WIM для дорожнього покриття, системи B-WIM також збирають цінні дані про поведінку мосту, які можуть бути використані для оцінки безпеки мостів, що вимірюються, або подібних до них.

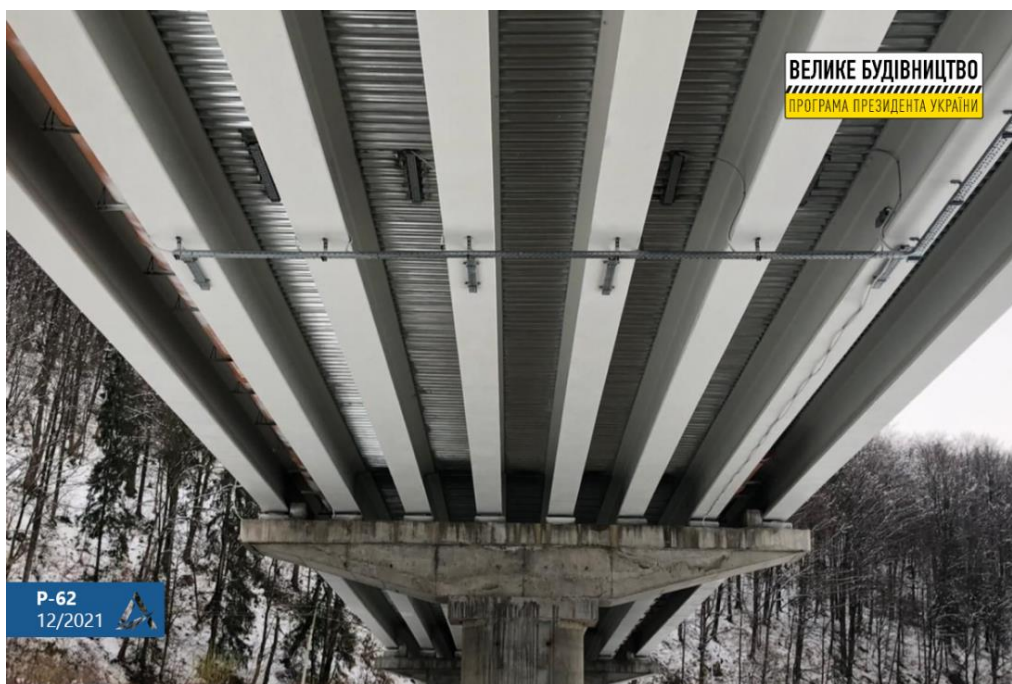


Рисунок 12 – Мостовий WIM-комплекс WIM75 на км 22+453 дороги P-62 в Чернівецькій області
Figure 12 – WIM75 bridge WIM complex at km 22+453 of the P-62 road in Chernivtsi region

Висновки. Важливість збору даних про масу та габарити автомобіля полягає не тільки у регулюванні, збереженні, підтриманні хорошого стану мережі автомобільних доріг та безпеки дорожнього руху. Ці дані в поєднанні з іншими параметрами, такими як: дата і час, місцезнаходження, швидкість і тип транспортного засобу, надають інформацію про завантаження транспортних потоків великовантажними транспортними засобами.

Впровадження системи зважування в русі допомагають зменшити інтенсивність руйнування українських доріг, а саме: утворення тріщин, колійностей та вибоїн майже одразу після введення автомобільної дороги в експлуатацію після будівництва чи ремонту; підвищує безпеку для учасників дорожнього руху – перевантажена вантажівка на 25 % має вдвічі більший гальмівний шлях (за несприятливих погодних умов цей показник зростає). У разі виявлення ознак порушень встановлених габаритно-вагових обмежень, комплекси зважування в русі надсилають дані щодо порушення до Центру обробки даних Державної служби України з безпеки на транспорті для їх опрацювання та накладання штрафу.

В Україні за період 2019–2024 рр. створено одну з найбільших у Європі мереж автоматичного вагового контролю, яка, попри війну, продовжує відновлюватись.

Запровадження автоматичних штрафів зменшило частку перевантажених транспортних засобів у 6–7 разів.

Наявне програмне забезпечення мистеми WIM і щорічні технічні звіти потребують доопрацювання для можливості забезпечення доступу до наступних даних про:

- температуру повітря;
- температуру покриття;
- розроблення блоку з розрахування коефіцієнтів приведення короточасних обліків до середньодобової річної інтенсивності руху;
- розроблення блоку з розрахування коефіцієнтів руйнівного впливу для кожного типу транспортних засобів;

– розроблення блоку з розрахування коефіцієнтів приросту інтенсивності;
– розроблення блоку з розрахування з оброблення й аналізування даних із майданчиків WIM, яка необхідна для продовження наукових досліджень щодо руйнівного впливу від сучасних транспортних засобів і використання реальних отриманих даних для розрахунку конструкцій дорожнього одягу.

Перелік посилань

1. 70 Years of Innovation in Dynamic Weighing! [Електронний ресурс]: <https://www.iwim.it/en/dynamic-weighing-history-innovation/>
2. IS-WIM (International Society for Weigh-in-Motion): Guide for users. [Електронний ресурс] <https://www.is-wim.net/what-is-wim/introduction/>
3. Piotr Burnos, Dawid Rys. The Effect of Flexible Pavement Mechanics on the Accuracy of Axle Load Sensors in Vehicle Weigh-in-Motion Systems. Sensors 2017, 17(9), 2053; <https://doi.org/10.3390/s17092053>. URL: https://www.researchgate.net/publication/319597622_The_Effect_of_Flexible_Pavement_Mechanics_on_the_Accuracy_of_Axle_Load_Sensors_in_Vehicle_Weigh-in-Motion_Systems
4. SEA (Weigh-in-Motion). [Електронний ресурс] <https://www.sea.com.ua/ua/weight-in-motion/>
5. Low-speed Weigh-in-Motion. [Електронний ресурс] <http://www.sterela-its.com/sterela-its-is-wim.html#gsc.tab=0>
6. IS-WIM (International Society for Weigh-in-Motion): Pavement Engineering. [Електронний ресурс] <https://www.is-wim.net/what-is-wim/applications-of-wim-data/pavement-engineering/>
7. Райковський В.Ф. Удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11. Київ, 2021. 211 с.
8. Вознюк А.Б. Удосконалення методу прогнозування аварійно-небезпечних ділянок на мережі автомобільних доріг : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Київ, 2021. 226 с.
9. Система зважування в русі (Weigh in motion). Технічний звіт про роботу у 2019-2021 роках. URL: <https://bit.ly/wimrprt21> (дата звернення: 01.09.2022).
10. Система зважування в русі (Weigh in motion). Технічний звіт про роботу у 2022-2024 роках. (дата звернення: 17.04.2025).
11. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 94. С. 226–238.

HISTORICAL DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR WEIGHING TRANSPORT VEHICLES IN MOTION (WEIGH-IN-MOTION)

Raikovskyi Vitaliy F., PhD (Candidate of Technical Sciences), Advanced Scientific Researcher, National Institute for Infrastructure Development, Kyiv, Ukraine, vintikntu@ukr.net, tel.+380982846899, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>.

Shpyh Alona Yu., PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, Associate Professor of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: alena-87@ukr.net, tel.+380988123982, <https://orcid.org/0000-0002-6909-7088>.

Malinich Vitalii V. Postgraduate student of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Malinich3004@gmail.com, тел. +380688529077, <https://orcid.org/0009-0003-4678-5149>

Summary. The article analyzes the historical development of weigh-in-motion (WIM) technologies from the 1950s to the present day. It provides an overview of the main types of WIM systems (road, bridge, on-board, low- and high-speed) and modern sensors. Particular attention is paid to the implementation of WIM in Ukraine in 2019–2024, the impact of full-scale invasion on the functioning of the network, and recovery

measures. According to official reports, after the introduction of automatic fines, the share of overloaded freight vehicles decreased from 30% to 5-8%. The paper proposes directions for improving software and WIM data analysis methodology for research and design needs.

Keywords: in-motion weighing, dynamic load, static load, axle load, vehicle weight, measurement technologies (low-speed and high-speed).

References

1. 70 Years of Innovation in Dynamic Weighing! [Електронний ресурс]: <https://www.iwim.it/en/dynamic-weighing-history-innovation/>
2. IS-WIM (International Society for Weigh-in-Motion): Guide for users. [Електронний ресурс] <https://www.is-wim.net/what-is-wim/introduction/>
3. Piotr Burnos, Dawid Rys. The Effect of Flexible Pavement Mechanics on the Accuracy of Axle Load Sensors in Vehicle Weigh-in-Motion Systems. *Sensors* 2017, 17(9), 2053; <https://doi.org/10.3390/s17092053>. URL: https://www.researchgate.net/publication/319597622_The_Effect_of_Flexible_Pavement_Mechanics_on_the_Accuracy_of_Axle_Load_Sensors_in_Vehicle_Weigh-in-Motion_Systems
4. SEA (Weigh-in-Motion). [Електронний ресурс] <https://www.sea.com.ua/ua/weight-in-motion/>
5. Low-speed Weigh-in-Motion. [Електронний ресурс] <http://www.sterela-its.com/sterela-its-ls-wim.html#gsc.tab=0>
6. IS-WIM (International Society for Weigh-in-Motion): Pavement Engineering. [Електронний ресурс] <https://www.is-wim.net/what-is-wim/applications-of-wim-data/pavement-engineering/>
7. Raikovskiy V.F. Udoskonalennya metodu rozrakhunku nadiynosti nezhorstkoho dorozhnoho odyahu pry diyi navantazhennia [Improving the method of the reliability calculation of flexible pavement underload action]. PhD (Ing.). Kyiv, 2021. 211 p. [in Ukrainian].
8. Vozniuk A. B. Udoskonalennya metodu prohnouzuvannya avariyno-nebezpechnykh dilianok na mrezhi avtomobilnykh dorih [Improving the method of forecasting hazardous locations on the road network]. PhD (Ing.). Kyiv, 2021. 226 p. [in Ukrainian].
9. Systema zvazhuvannya v rusi. Tekhnichnyy zvit pro robotu u 2019-2021 rokakh [Weigh in motion system. Technical report on work in 2019-2021]. URL: <https://bit.ly/wimrprt21> (Last accessed: 01.09.2022) [in Ukrainian].
10. Systema zvazhuvannya v rusi. Tekhnichnyy zvit pro robotu u 2019-2021 rokakh [Weigh in motion system. Technical report on work in 2022-2024]. URL: <https://bit.ly/wimrprt21> (Last accessed: 17.04.2025) [in Ukrainian].
11. Hamelyak I.P., Raikovskiy V.F. Analiz zminy koefitsiyentiv pryrostu intensyvnosti transportnykh zasobiv v chasi dlya avtomobilnykh dorih Ukrayiny [Analysis of the change in the coefficients of increase in the intensity of vehicles over time for the roads of Ukraine]. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*. 2015. Iss. 94. P. 226–238. [in Ukrainian].