

УДК 625.8:624.04
UDC 625.8:624.04

DOI:10.33744/0365-8171-2024-116.2-049-055

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОРИСТАННЯ FFWD МЕТОДУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОРОЖНІЙ ОДЯГ НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ

RESULTS OF USING THE FFWD METHOD IN ASSESSING STATIC AND DYNAMIC LOADS ON ROAD PAVEMENT IN UKRAINE



Алімов Акім Абкерімович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, тел. +3809994793426, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206,

<https://orcid.org/0009-0006-5540-6173>

Анотація: Досліджено результати використання методу оцінювання несної здатності дорожніх одягів Fast-Falling-Weight-Deflectometer (FFWD) в Україні. Визначено, що метод дозволяє більш точно оцінити статичне та динамічне навантаження на дорожній одяг, що є передумовою для планування ремонтних заходів. Визначено, що основними недоліками практичного застосування методу FFWD є помилки вимірювань, шумове забруднення сигналу, помилки обчислень. Встановлено, що перевагами методу FFWD є швидкість отримання даних (у п'ять разів швидше, ніж аналоги), неінвазивність (неруйнівний характер тесту), повна автоматизація обробки результатів. Основним викликом до застосування цього методу є недосконалість нормативно-технічних документів у частині визначення статичного та динамічного навантаження на дорожній одяг.

Ключові слова: динамічне навантаження, дорожнє покриття, метод FFWD, чаша прогину

Вступ.

Життєвий цикл функціонування мережі доріг супроводжують різні процеси, зокрема, одним з індикаторів змін стану їх елементів є процес деградації. Дорожній одяг є одним з основних елементів автомобільної дороги, тому підтримка його у якісному стані є важливим показником. Ці заходи мають здійснюватися на основі моніторингу стану дорожнього одягу, з подальшою оцінкою залишкового терміну служби. Як правило, залишковий термін служби елемента доріг можна визначити двома способами: аналітичним методом, який більш прийнятний для нових доріг, або щойно відремонтованих і методом оцінювання показників на основі натурних вимірювань, який вважається більш точним, оскільки базується на реальних даних. В усьому світі метод оцінювання показників на основі натурних вимірювань виконується руйнівним або неруйнівним способом. Неруйнівні випробування (NDT) в останні роки мають інтенсивний розвиток. Зокрема, сучасною інноваційною версією так званих «неруйнівних тестів» є метод оцінювання несної здатності дорожніх одягів динамічним навантаженням використанням устаткування дефлектометра швидкого падіння ваги (Fast-Falling-Weight-Deflectometer – FFWD), який був розроблений на основі тесту FWD [1-2]. Починаючи з кінця 1970-х років, цей метод набуває популярності у використанні в дорожній галузі багатьох країн через швидкість отримання даних, відносно високу точність та репрезентативність результатів вимірювань [1-4]. Проте, в Україні з ряду причин цей метод тільки починає використовуватися і потребує додаткових досліджень, оскільки розроблені стандарти не є досконалими [5-6], що робить

розгляд питання використання FFWD методу при оцінюванні статичного та динамічного навантаження на дорожній одяг на дорогах України актуальним.

Виклад основного матеріалу.

Метод FFWD використовується в Україні Державним підприємством «Дорожній науково-технічний центр» (ДП «Дорцентр») для визначення міцності дорожньої конструкції за її деформаційними характеристиками [7, 8]. Зокрема, у 2021 році було виконано оцінку загальної міцності існуючої дорожньої конструкції автомобільної дороги Автошлях М-04 (Знам'янка — Луганськ — Ізварине на ділянках: км 0+000 - км 2+500, км 216+384 – км 279+693 (окремими ділянками)) та транспортних розв'язках по всій протяжності ділянок, у межах Дніпропетровської області, а також надано рекомендації щодо подальшого проведення робіт. Вимірювання проводились за методикою, викладеною в ДСТУ Б В.2.3- 42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу [5]. При цьому було використано пересувну дорожню лабораторію у складі: устаткування для оцінки міцності за методом FFWD на базі одновісного причепа та автомобіля-тягача (рис. 1) [7].



Рисунок 1 – Устаткування для оцінки міцності за методом FFWD [7]

Figure 1 - Equipment for strength assessment by the FFWD method [7]

В дослідженні [6] докладно описано принципи вимірювання міцності за методом FFWD. Оцінка загальної міцності існуючої дорожньої конструкції автомобільної дороги Автошлях М-04 виконувалась в наступній послідовності [7]:

- детальний візуальний огляд поверхні покриття з оцінкою наявних дефектів та виділенням характерних ділянок;
- детальна оцінка міцності з використанням методу динамічного навантаження;
- камеральна обробка результатів вимірювань з введенням температурних компенсацій та приведенням значення динамічного модуля пружності до статичного.

Відповідно візуального огляду об'єкта було зафіксовано руйнування та деформації існуючого асфальтобетонного покриття, викришування, вибоїни, просідання, сітки тріщин, тріщини загальні поперечні та поздовжні, руйнування країв дорожнього одягу.

Визначені вихідні дані для подальшого дослідження:

- 1) За кліматичними умовами роботи асфальтобетонних покриттів ділянка знаходиться у зоні А6.
- 2) Категорія дороги по технічному паспорту в межах обстежуваної ділянки – І.
- 3) Загальна довжина ділянки 63,309 км (рис. 2).

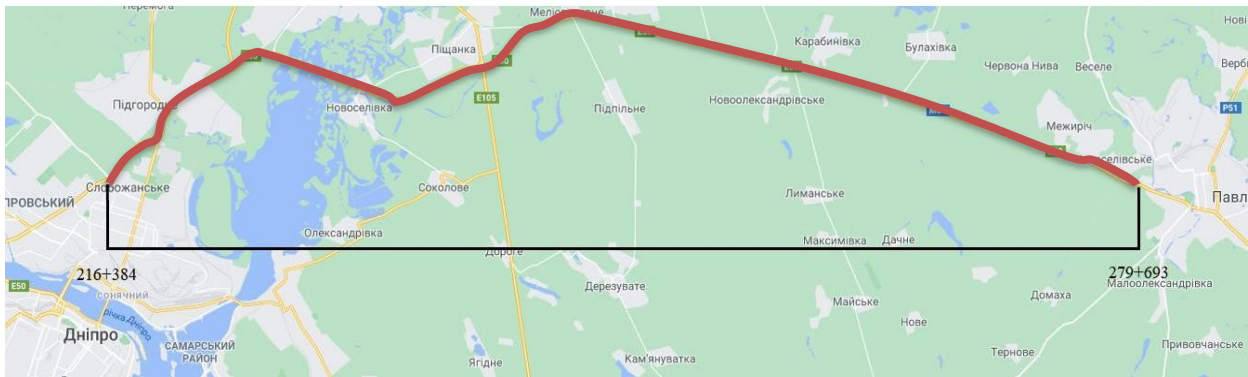


Рисунок 2 – Мапа виконання робіт на Автошляху М-04 [7]
Figure 2 – Map of work on the M-04 Motorway [7]

Виконано поділ об'єкта дослідження на ділянки за типом дорожнього одягу (рис. 3).

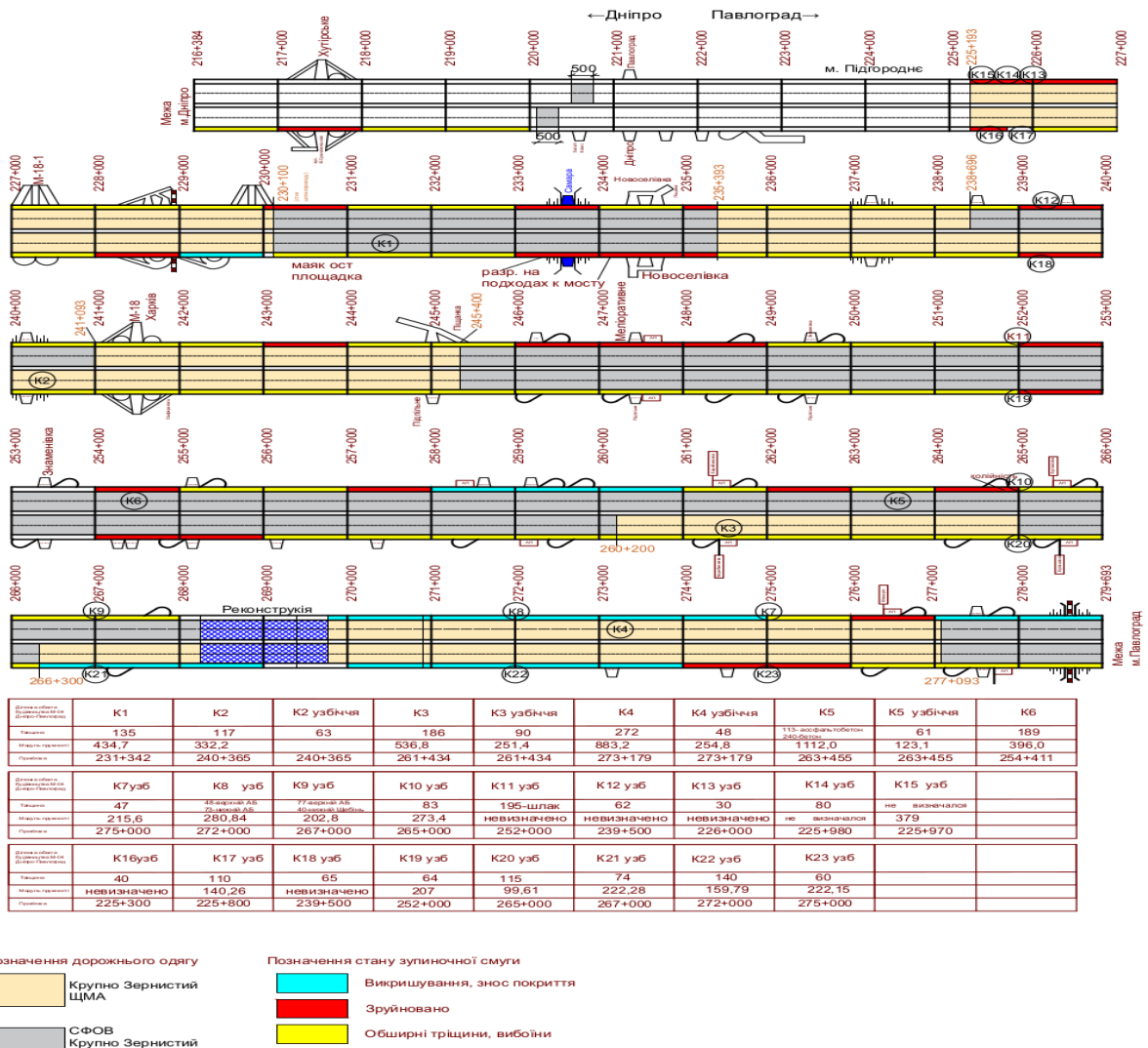


Рисунок 3 – Поділ ділянок за типом дорожнього одягу на об'єкті [7]
Figure 3 – Division of areas by type of road surface on the site [7]

Комплекс виконання робіт з використанням устаткування дефлектометра швидкого падіння ваги включає:

- 1) Транспортування випробувального обладнання на об'єкт;
- 2) Підготовка обладнання для випробувань;
- 3) Визначення фактичних прогинів поверхні конструктивних шарів під дією динамічного навантаження, що генерується системою навантаження устаткування;
- 4) Визначення фактичної температури асфальтобетонного шару;
- 5) Камеральна обробка результатів вимірювань.
- 6) Вимірювання міцності виконувались з зупинкою устаткування на правій смузі руху. Устаткування обладнано необхідними засобами організації дорожнього руху.
- 7) Результатом розрахунку є значення загального модуля пружності дорожньої конструкції

Результати польових вимірювань основного проїзду представлені у вигляді таблиць – відомостей чаш прогинів та модулів пружності (табл. 1), графіків (рис. 4) та графічних зображень значення модуля пружності на карті (рис. 5).

Аналізуючи вищенаведені результати, можна зробити висновки (рекомендації), щодо визначення місць проведення робіт з підсилення міцності дорожньої конструкції автомобільної дороги М-04, зокрема, на ділянці, яка взята як зразок для даного дослідження (км 0+000 - км 2+500).

Таблиця 1 – Відомість чаш прогинів та модулів пружності на ділянці км 0+000 - км 2+500 (зразок) [7]

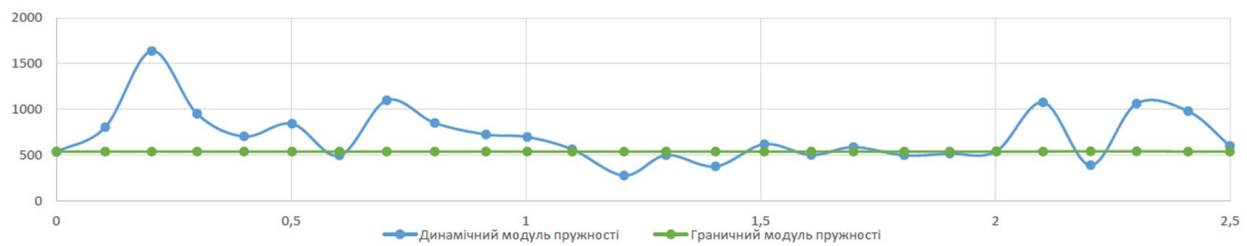
Table 1 – List of basin deflections and elastic moduli on the road site km 0+000 - km 2+500 (sample) [7]

Прив'язка	р, кПа	Прогин, мм									$E_{дин}$, МПа	$E_{стат}$, МПа	$E_{ф}$, МПа
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9			
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	600	305	245	202	165	126	73	48	36	28	537	413	406
0,104	600	203	174	154	137	112	80	61	48	38	807	621	707
0,203	600	100	87	76	68	60	47	40	33	26	1638	1260	1615
0,3	600	172	148	132	122	105	82	65	54	41	952	733	939
0,4	600	232	183	155	130	108	75	57	45	37	706	543	696
0,502	600	194	153	128	109	91	70	60	50	43	844	649	833
0,603	600	329	265	223	185	150	108	79	61	51	498	383	491
0,704	600	149	100	79	71	65	54	46	39	35	1099	846	1084
0,806	600	192	152	128	110	93	73	61	55	47	853	656	841
0,915	600	225	173	152	140	126	102	81	64	48	728	560	718

Примітка: $E_{дин}$ – динамічний модуль пружності, отриманий після випробування установкою FFWD;

$E_{стат}$ – корегований модуль пружності відповідно до статичних випробувань;

$E_{ф}$ – фактичний загальний модуль пружності характерної ділянки після випробування установкою FFWD.

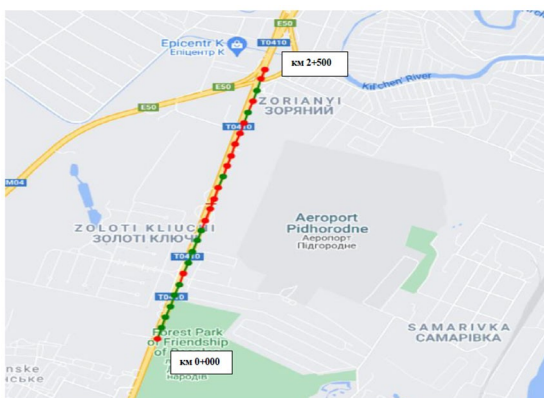


а) прями́й напрямок руху

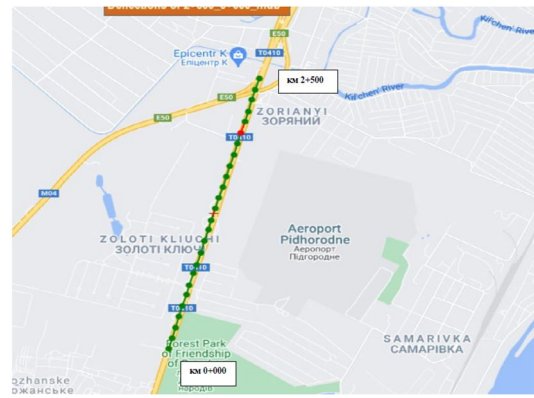


б) зворотній напрямок руху

Рисунок 4 – Графіки значення динамічного модуля пружності на ділянці км 0+000 - км 2+500
Figure 4 – Graphs of the dynamic modulus of elasticity on the section km 0+000 - km 2+500



а) прями́й напрямок руху



б) зворотній напрямок руху

Рисунок 5 – Графічне зображення місць визначення модуля пружності на ділянці км 0+000 - км 2+500

Figure 5 – Graphical representation of the value of the modulus of elasticity on the section km 0+000 – km 2+500

Обробка результатів польових досліджень дозволила визначити переваги та недоліки даного методу. До вагомих переваг методу FFWD відноситься:

- неруйнівний характер тесту;
- швидкість отримання даних, яка у п'ять разів швидше, ніж аналогічні неруйнівні тести;
- повна автоматизація обробки результатів;
- висока точність, яка досягається багатократністю вимірювань.

Основними недоліками застосування методу FFWD на практиці є:

- помилки вимірювань, які пов'язані з неправильним розміщенням датчиків або, якщо вимірювання виконані при невідкаліброваному обладнанні;
- шумове забруднення сигналу, що можна мінімізувати за рахунок попередньої обробки отриманого сигналу від датчиків;

- помилки обчислень, які переважно пов'язані з незабезпеченням багатократності вимірювань тестувальниками.

В дослідженні [6] було визначено, що в сучасній нормативно-технічній базі дорожнього господарства потребує уточнення коефіцієнт приведення розрахованого значення загального модуля пружності за результатами динамічних випробовувань до значення загального модуля пружності при статичних випробовуваннях. Таке уточнення зможе у майбутньому покращити результати розрахунків за даними, отриманими в результаті використання методу FFWD.

Висновки.

Проведене дослідження результатів застосування методу Fast-Falling-Weight-Deflectometer на дорогах України для оцінювання несної здатності дорожніх одягів дозволило визначити переваги, недоліки та перешкоди до його застосування. Зокрема, до основних переваг методу FFWD слід віднести: неруйнівний характер тесту; швидкість отримання даних, яка у п'ять разів швидше, ніж аналоги; повну автоматизацію обробки результатів та їх високу точність. До основних недоліків застосування методу FFWD на практиці відносяться ризик помилок вимірювань, вплив шумового забруднення сигналу на результати, помилки обчислень. Встановлено, що застосування цього методу потребує удосконалення нормативної бази дорожнього господарства в частині уточнення коефіцієнту приведення розрахованого значення загального модуля пружності за результатами динамічних випробовувань до значення загального модуля пружності при статичних випробовуваннях.

Перелік посилань

1. Coni, M., Mistretta, F., Stochino, F., Rombi, J., Sassu, M., & Puppio, M. L. (2021). Fast falling weight deflectometer method for condition assessment of RC bridges. *Applied Sciences*, 11(4), 1743. <https://doi.org/10.3390/app11041743>
2. Falling Weight Deflectometer. URL: <https://www.pavementanalysis.com/falling-weight-deflectometer>
3. Falling weight deflectometer. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Falling_weight_deflectometer
4. Dynatest: 8012 Fast Falling Weight Deflectometer. URL: <https://pdf.aeroexpo.online/pdf/dynatest/8012-fast-falling-weight-deflectometer/172481-19158.html>
5. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу; Введ. 01.07.2016. – Київ, 2016. – 40 с.
6. Харченко А.М., Чечуга О.С., Алімов А.А. Аналіз методів визначення дії статичного та динамічного навантажень на дорожній одяг. *Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*, 2024. Випуск 115. Частина 1. С.292-301. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-292-301
7. Звіт про надання послуг щодо оцінки загальної міцності існуючої дорожньої конструкції автомобільної дороги М-04 на ділянках: км 0+000 – км 2+500; км 216+384 – км 279+693 (окремими ділянками) в межах Дніпропетровської області. Київ: ДП «Дорцентр», 2021. – 153 с.
8. Визначення модуля пружності за допомогою FastFWD. URL: <http://roadcontrol.com.ua/nashi-poslugy/#sub-service-5>

RESULTS OF USING THE FFWD METHOD IN ASSESSING STATIC AND DYNAMIC LOADS ON ROAD PAVEMENT IN UKRAINE

Akim Alimov, National Transport University, Postgraduate student of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: akim.alimov.1997@gmail.com, tel. +3809994793426, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, office 206, <https://orcid.org/0009-0006-5540-6173>

Summary. The results of using the Fast-Falling-Weight-Deflectometer (FFWD) method for assessing the failure of road pavements in Ukraine were studied. It was noted that the method allows for a more accurate assessment of the static and dynamic load on the road pavement, which is a prerequisite for planning repair

measures. It was determined that the main disadvantages of the practical application of the FFW method are measurement errors, noise signal interference, and calculation errors. It was established that the advantages of the FFW method are the speed of data acquisition (five times faster than similar methods), non-invasiveness (non-destructive nature of the test), and full automation of results processing. The main problem with the application of this method is the imperfection of regulatory and technical documents in terms of determining the static and dynamic load on the road pavement.

Keywords: dynamic loading, road surface, FFW method, deflection basin

References

1. Coni, M., Mistretta, F., Stochino, F., Rombi, J., Sassu, M., & Puppio, M. L. (2021). Fast falling weight deflectometer method for condition assessment of RC bridges. *Applied Sciences*, 11(4), 1743. <https://doi.org/10.3390/app11041743> [in English]
2. Falling Weight Deflectometer. URL: <https://www.pavementanalysis.com/falling-weight-deflectometer> [in English]
3. Falling weight deflectometer. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Falling_weight_deflectometer [in English]
4. Dynatest: 8012 Fast Falling Weight Deflectometer. URL: <https://pdf.aeroexpo.online/pdf/dynatest/8012-fast-falling-weight-deflectometer/172481-19158.html> [in English]
5. DSTU B V.2.3-42:2016 Avtomobilni dorohy. Metody vyznachennia deformatsiinykh kharakterystyk zemlianooho polotna ta dorozhnooho odiahu; Vved. 01.07.2016. – Kyiv, 2016. – 40 s. [in Ukrainian]
6. Kharchenko A.M., Chechuha O.S., Alimov A.A. Analiz metodiv vyznachennia dii statychnoho ta dynamichnooho navantazhen na dorozhnii odiah. *Naukovyi zhurnal «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo»*, 2024. Vypusk 115. Chastyna 1. S.292-301. DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.1-292-301. [in Ukrainian]
7. Zvit pro nadannia posluh shchodo otsinky zahalnoi mitsnosti isnuiuchoi dorozhnoi konstrukttsii avtomobilnoi dorohy M-04 na diliankakh: km 0+000 – km 2+500; km 216+384 – km 279+693 (okremymy diliankaamy) v mezhakh Dnipropetrovskoi oblasti. Kyiv: DP «Dortsentr», 2021. – 153 s. [in Ukrainian]
8. Vyznachennia modulua pruzhnosti za dopomohoiu FastFWD. URL: <http://roadcontrol.com.ua/nashi-poslugy/#sub-service-5> [in Ukrainian]