

**ДИНАМІКА ПЛИТИ АСФАЛЬТОУКЛАДАЛЬНИКА
З ДОДАТКОВИМ ВІБРОЗБУДЖУВАЧЕМ ТА ЇЇ ВПЛИВ
НА ПРОЦЕС РОЗГЛАДЖУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ**

Анотація. У статті розглянуто підвищення ефективності процесу розгладжування асфальтобетонної суміші під час її укладання шляхом удосконалення конструкції робочої плити асфальтоукладальника. Запропоновано встановлення додаткового віброзбуджувача на плиті компактного асфальтоукладальника, що забезпечує інтенсифікацію перерозподілу суміші у зоні контакту з робочим органом та покращення рівномірності формування шару покриття. Розроблено математичну модель динаміки системи «віброзбуджувач – робоча плита – асфальтобетонна суміш», яка враховує вертикальні та кутові коливання плити під дією гармонічного збудження. На основі моделі досліджено вплив параметрів віброзбудження на інтенсивність коливального процесу та показники розгладжування асфальтобетонної суміші. Встановлено, що раціональний вибір частоти обертання віброзбуджувача та параметрів дебалансного механізму дозволяє підвищити ефективність розподілу суміші, зменшити нерівності поверхні та покращити умови формування дорожнього покриття. Отримані результати можуть бути використані під час удосконалення конструкції робочих органів асфальтоукладальників та оптимізації режимів їх роботи.

Ключові слова: асфальтоукладальник, робоча плита, віброзбуджувач, асфальтобетонна суміш, динаміка коливань, розгладжування покриття, вібраційний вплив, математична модель.

Постановка проблеми. Якість дорожнього покриття значною мірою визначається рівномірністю розподілу та ступенем ущільнення асфальтобетонної суміші під час її укладання, що значною мірою залежить від роботи розгладжувальної плити асфальтоукладальника. Дослідження показують, що ефективність процесу формування шару визначається динамічними параметрами системи віброущільнення, які впливають на інтенсивність коливань та стабільність роботи машини. Разом з тим питання підвищення ефективності розгладжування асфальтобетонної суміші шляхом додаткового віброзбудження робочої плити досліджено недостатньо. Тому актуальним є дослідження впливу встановлення віброзбуджувача на плиті асфальтоукладальника на процес формування та розгладжування асфальтобетонного шару.

Аналіз останніх досліджень. Підвищення якості укладання асфальтобетонної суміші пов'язане з удосконаленням робочих органів асфальтоукладальника, насамперед трамбуєчих брусів та розгладжувальної плити, які визначають рівномірність форму-

вання дорожнього шару та його попереднє ущільнення [6]. У сучасних дослідженнях показано, що ефективність роботи таких систем значною мірою залежить від динамічних параметрів вібраційного збудження, зокрема частоти коливань, маси дебалансів та характеристик пружно-дисипативної взаємодії з матеріалом [2], [7]. При цьому зі збільшенням інтенсивності вібраційного впливу підвищується ефективність ущільнення асфальтобетонної суміші, однак одночасно можуть зростати кутові коливання плити, що негативно впливає на рівність поверхні покриття [3], [6]. Для оцінювання динамічного стану таких систем застосовують показники прискорень та інші інтегральні характеристики коливань, що дозволяють кількісно аналізувати роботу вібраційних машин [1], [2]. Разом з тим більшість досліджень зосереджена на оптимізації параметрів стандартних віброущільнювальних систем асфальтоукладальників, тоді як можливість підвищення ефективності розгладжування асфальтобетонної суміші шляхом встановлення додаткового віброзбуджувача на плиті досліджена недостатньо. Це особливо актуально для компактних асфальтоукладальників типу AFW 150-2, які застосовуються під час ремонтних робіт у міських умовах і мають специфічні динамічні режими роботи [4], [5].

Мета досліджень. Метою досліджень є розроблення та обґрунтування математичної моделі динаміки робочої плити асфальтоукладальника з установленим віброзбуджувачем, яка враховує взаємодію системи «віброзбуджувач – плита – асфальтобетонна суміш», а також дослідження впливу параметрів вібраційного збудження на ефективність процесу розгладжування та рівномірність формування асфальтобетонного шару.

Викладення основного матеріалу дослідження. У роботі розглядається модернізація робочого органу компактного асфальтоукладальника Ammann AFW 150-2, що полягає у встановленні додаткового віброзбуджувача на розгладжувальній плиті. Базова конструкція машини включає бункер для приймання асфальтобетонної суміші, систему подачі матеріалу до зони укладання та робочу плиту, яка забезпечує розподіл і попереднє ущільнення шару покриття. Асфальтоукладальник має триколісну схему ходової частини, де два задні колеса забезпечують тягове зусилля, а переднє колесо виконує функцію керування. Робоча плита розташована у задній частині машини і контактує безпосередньо з асфальтобетонною сумішшю під час її укладання.

У стандартній конструкції плита виконує функції розподілу суміші, її часткового ущільнення та остаточного розгладжування поверхні. Формування шару відбувається за рахунок ковзання нижньої поверхні плити по асфальтобетонній суміші та дії власної маси робочого органу. Проте при роботі компактних асфальтоукладальників маса плити та енергія динамічного впливу є відносно невеликими, що може призводити до нерівномірного розподілу суміші, утворення локальних нерівностей та недостатньої однорідності поверхні покриття. Для підвищення ефективності процесу розгладжування запропоновано модернізувати плиту шляхом встановлення на ній віброзбуджувача.

Конструктивно віброзбуджувач виконано у вигляді дебалансного механізму (рис. 1), який складається з електричного або гідравлічного приводу, ексцентрикового вала та маси дебалансу. Під час обертання ексцентрика виникає відцентрова сила, яка

створює гармонічні коливання плити у вертикальному напрямку. Вібробуджувач встановлюється у центральній частині плити або поблизу її центра мас, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл коливань по всій ширині робочого органу та зменшити небажані кутові коливання відносно поздовжньої та поперечної осей.



Рисунок 1 – Асфальтоукладальник Ammann AFW 150-2 з робочою плитою

Кріплення вібробуджувача до конструкції плити здійснюється за допомогою жорсткого монтажного вузла, який передає динамічні сили безпосередньо на металоконструкцію плити. При цьому конструкція кріплення забезпечує необхідну жорсткість системи та мінімізує втрати енергії коливань у з'єднувальних елементах. Робоча частота обертання дебалансного механізму підбирається таким чином, щоб забезпечити ефективне розрідження структури асфальтобетонної суміші в зоні контакту з плитою, не викликаючи надмірних коливань машини в цілому.

Принцип роботи модернізованої плити полягає у поєднанні статичного впливу її маси з додатковими вібраційними коливаннями. Під час руху асфальтоукладальника суміш подається у зону формування шару, після чого проходить під плитою. Внаслідок дії вібробуджувача виникають коливання плити, які сприяють зменшенню внутрішнього тертя між частинками асфальтобетонної суміші, покращують її перерозподіл по ширині укладання та сприяють більш рівномірному заповненню порожнин у структурі матеріалу. У результаті цього підвищується однорідність шару, покращується його щільність і зменшується хвилястість поверхні.

Запропонована конструкція модернізованої плити дозволяє підвищити ефективність процесу розгладжування асфальтобетонної суміші без суттєвого ускладнення конструкції асфальтоукладальника. Додатковий вібробуджувач може бути інтегрований у конструкцію машини без значних змін її базових вузлів, що робить дане рішення перспективним для застосування у компактних асфальтоукладальниках, призначених для виконання дорожньо-ремонтних робіт у міських умовах.

Для оцінювання впливу додаткового вібробуджувача на процес розгладжування асфальтобетонної суміші робочу плиту асфальтоукладальника доцільно розглядати як просторову коливальну систему з трьома узагальненими координатами: вертикальним переміщенням центра мас плити Z , кутом тангажу φ та кутом крену θ . Такий підхід ві-

дповідіає сучасним моделям віброущільнювальних систем асфальтоукладальників, у яких якість укладання пов'язується не лише з вертикальними коливаннями, а й з кутовими рухами плити, що визначають рівномірність формування шару по довжині та ширині. Для оцінювання динамічного стану плити доцільно використовувати середньоквадратичні прискорення у вертикальному, поздовжньо-кутовому та поперечно-кутовому напрямках, як це прийнято в роботах з дослідження динаміки плит асфальтоукладальників.

У запропонованій постановці плита взаємодіє з асфальтобетонною сумішшю через еквівалентні пружно-інерційні та дисипативні зв'язки, які враховують опір суміші у зоні контакту[2]. Додатковий віброзбуджувач, установлений на плиті, формує гармонічну збудовальну силу, яка передається на металоконструкцію плити та зумовлює її просторові коливання. Якщо прийняти, що асфальтобетонна суміш у зоні контакту з плитою еквівалентно описується лінійно-пружними і в'язкими елементами, то рівняння руху плити можна записати у вигляді

$$m\ddot{Z} = F_s - \sum_{j=1}^4 F_j, \quad (1)$$

$$I_y\ddot{\varphi} = \sum_{j=1}^4 (-1)^{j+1} F_j x_u - F_s x_1, \quad (2)$$

$$I_x\ddot{\theta} = \sum_{j=1}^4 (-1)^j F_j y_v. \quad (3)$$

де m – маса плити із урахуванням опору суміші ; I_y – момент інерції плити відносно поперечної осі; I_x – момент інерції плити відносно поздовжньої осі; F_s – збудовальна сила віброзбуджувача; F_j – реакції асфальтобетонної суміші у характерних точках контакту плити; x_u , y_v – координати точок прикладання контактних реакцій відносно центра мас плити; x_1 – плече прикладання збудовальної сили. За структурою ці рівняння є адаптацією просторової моделі вібраційної плити асфальтоукладальника, наведеної в роботі з дослідження динамічних параметрів системи ущільнення.

Реакції асфальтобетонної суміші в точках контакту плити з шаром доцільно задавати через еквівалентні коефіцієнти жорсткості та демпфування:

$$F_j = C_j \left(\dot{Z} + (-1)^j x_u \dot{\varphi} + (-1)^{j+1} y_v \dot{\theta} \right) + k_j \left(Z + (-1)^j x_u \varphi + (-1)^{j+1} y_v \theta \right), \quad (4)$$

де C_j – коефіцієнт в'язкого опору асфальтобетонної суміші в j -й зоні контакту; k_j – еквівалентна жорсткість суміші в цій же зоні. Такий запис відображає, що локальна реакція матеріалу визначається як миттєвим зміщенням відповідної точки плити, так і швидкістю її переміщення. У фізичному сенсі члени з k_j характеризують опір суміші деформуванню, а члени з C_j – енергетичні втрати внаслідок внутрішнього тертя та в'язкопластичних властивостей асфальтобетону.

Збудовальна сила від дебалансного віброзбуджувача визначається класичною залежністю

$$F_s = m_s r_s \omega^2 \sin(\omega t) \quad (5)$$

де m_s – маса дебалансу; r_s – ексцентриситет; ω – кутова швидкість обертання вала вібророзбуджувача; t – час. Ця сила є основним джерелом вібраційного впливу на плиту й визначає інтенсивність розрідження асфальтобетонної суміші в зоні розгладжування. Аналогічний запис збурювальної сили використовується в моделях віброплит асфальтоукладачів для опису дії вібраційного органа.

Для визначення прискорень у характерних точках нижньої поверхні плити, які безпосередньо пов'язані з процесом формування шару, використовується кінематичний зв'язок між рухом центра мас і кутовими коливаннями. Для довільної точки ψ нижньої поверхні плити вертикальне прискорення можна подати як

$$\ddot{Z}_\psi = \ddot{Z} + (-1)^v x_\psi \ddot{\phi} + (-1)^{v+1} y_\psi \ddot{\theta}, \quad (6)$$

де x_ψ та y_ψ – координати точки ψ відносно центра мас плити. Це співвідношення дозволяє визначати локальну інтенсивність динамічного впливу на асфальтобетонну суміш у різних зонах робочої ширини.

Оскільки якість розгладжування визначається не миттєвими, а усередненими за часом коливальними параметрами, як критерій оцінювання доцільно використовувати середньоквадратичні прискорення. Для точки контакту ψ маємо

$$A_\psi = \sqrt{\frac{1}{t_f - t_0} \int_{t_0}^{t_f} (\ddot{z}_\psi(\tau))^2 d\tau}, \quad (7)$$

\ddot{z}_ψ – миттєве вертикальне прискорення точки контакту плити; t_0 – початковий і кінцевий моменти інтервалу аналізу.

Аналогічний показник може бути визначений і для центра мас плити в узагальненому напрямку коливань k , де $k=z, \phi, \theta$. У цьому випадку

$$A_k = \sqrt{\frac{1}{t_f - t_0} \int_{t_0}^{t_f} (\ddot{q}_k(\tau))^2 d\tau} \quad (8)$$

де \ddot{q}_k – відповідне прискорення центра мас плити у вертикальному, тангажному або креновому напрямку.

Застосування інтегральних характеристик прискорень дозволяє оцінити інтенсивність динамічного впливу плити на асфальтобетонну суміш та ступінь її коливальної нестійкості. Аналіз вертикальних, тангажних та кренових складових руху робочого органа дає можливість кількісно оцінити ефективність розподілу суміші, рівність формування шару та стабільність положення плити під час укладання.

Для комплексної оцінки роботи модернізованої плити доцільно використати узагальнений показник ефективності коливального режиму, який можна подати у вигляді

$$\eta = \frac{A_\phi + A_\theta}{A_z} \quad (9)$$

де A_z – інтегральна характеристика вертикальних коливань плити; A_φ та A_θ – відповідні показники тангажних і кренових коливань.

Збільшення значення показника η свідчить про підвищення частки корисних вертикальних коливань у загальній структурі руху плити та зменшення небажаних кутових переміщень. При цьому забезпечується інтенсивний перерозподіл асфальтобетонної суміші в зоні контакту з плитою та покращується рівність сформованого шару покриття. Водночас надмірне зростання вертикальних прискорень може призводити до підвищення нестійкості руху плити, тому вибір параметрів віброзбудження повинен забезпечувати компроміс між достатнім динамічним впливом на суміш і стабільністю просторового положення робочого органу.

Запропонована математична модель дозволяє описати динамічну взаємодію системи «віброзбуджувач – робоча плита – асфальтобетонна суміш» та дослідити вплив конструктивних і режимних параметрів на процес розгладжування шару. На основі цієї моделі може бути виконано чисельне моделювання з метою визначення раціональних значень маси дебалансу, ексцентриситету, частоти обертання віброзбуджувача та його оптимального розташування на плиті асфальтоукладальника.

ЛІТЕРАТУРА

1. Michalczyk J., Cieplok G. Maximal Amplitudes of Vibrations of the Suspended Screens, During the Transient Resonance. *Archives of Mining Sciences*. 2016. Vol. 61, no. 3. P. 537–552. URL: <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0039>
2. Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем : навч. посіб. / І. І. Назаренко. – 2-ге вид. – Київ : Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
3. Nguyen V. L., Zhang J. R., et al. Vibration analysis and modeling of an off-road vibratory roller equipped with three different cab's isolation mounts. *Shock and Vibration*, Vol. 2018.
4. AFW 150-2 asphalt paver specifications. Available at: <https://ets-group.com.ua/afw-150-2/>
5. Ільченко В. Особливості влаштування асфальтобетонного покриття за технологією «hot on hot» / В. Ільченко, А. Лагура // Просторове планування для майбутнього України: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., 25–26 трав. 2023 р. – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2023. – С. 221–225.
6. Luo D., Feng Z., Wang X. Simulation and experimental study on compacting mechanism of asphalt paver. *Journal of Guangxi University*, Vol. 36, Issue 5, 2011, p. 729-735
7. Wan Y., Jia J. Nonlinear dynamics of asphalt-screed interaction during compaction: Application to improving paving density. *Construction and Building Materials*, Vol. 202, 2019, p. 363-373.

REFERENCES

1. Michalczyk, J., & Cieplok, G. (2016). Maximal amplitudes of vibrations of the suspended screens during the transient resonance. *Archives of Mining Sciences*, 61(3), 537–552. <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0039>
2. Nazarenko, I. I. (2010). *Prykladni zadachi teorii vibratsiinykh system* [Applied problems of vibration systems theory] (2nd ed.). Kyiv: Vydavnychiy Dim “Slovo”.

3. Nguyen, V. L., Zhang, J. R., et al. Vibration analysis and modeling of an off-road vibratory roller equipped with three different cab's isolation mounts. *Shock and Vibration*, 2018.
4. AFW 150-2 asphalt paver specifications. Available at: <https://ets-group.com.ua/afw-150-2/>
5. Ilchenko, V., & Lahura, A. (2023). Osoblyvosti vlashtuvannia asfaltobetonnoho pokryttia za tekhnolohiieiu "hot on hot" [Features of asphalt concrete pavement construction using the "hot on hot" technology]. In: *Prostorove planuvannia dlia maibutnoho Ukrainy*: Proceedings of the All-Ukrainian scientific and practical conference (May 25–26, 2023). Poltava: Yuri Kondratyuk National University, 221–225.
6. Luo, D., Feng, Z., & Wang, X. (2011). Simulation and experimental study on compacting mechanism of asphalt paver. *Journal of Guangxi University*, 36(5), 729–735.
7. Wan, Y., & Jia, J. (2019). Nonlinear dynamics of asphalt-screed interaction during compaction: Application to improving paving density. *Construction and Building Materials*, 202, 363–373.

Received 17.03.202
Accepted 20.03.2026
Published 31.03.2026

***Dynamics of an asphalt paver screed with an additional vibration exciter
and its influence on the leveling process of asphalt concrete mixture***

The article considers improving the efficiency of the asphalt concrete mixture leveling process during paving by enhancing the design of the asphalt paver screed. The installation of an additional vibration exciter on the screed of a compact asphalt paver is proposed, which intensifies the redistribution of the mixture in the contact zone with the working element and improves the uniformity of pavement layer formation. A mathematical model of the dynamic system "vibration exciter – screed – asphalt concrete mixture" has been developed, taking into account the vertical and angular oscillations of the screed under harmonic excitation. Based on the developed model, the influence of vibration excitation parameters on the intensity of the oscillatory process and the leveling performance of the asphalt concrete mixture was investigated. It was established that the rational selection of the vibration exciter rotational frequency and the parameters of the eccentric mechanism makes it possible to improve mixture distribution efficiency, reduce surface irregularities, and enhance the conditions for pavement layer formation. The obtained results can be used to improve the design of asphalt paver working elements and to optimize their operating modes.

Keywords: asphalt paver, screed, vibration exciter, asphalt concrete mixture, vibration dynamics, pavement leveling, vibration impact, mathematical model.

Нечипорук Віктор Григорович – аспірант кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>

Nechyporuk Viktor – postgraduate student of the Department of Machines and Equipment of Technological Processes, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Ukraine.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>