

**Запривода А.В.**

к.т.н., доцент

**Нечипорук В.Г.**здобувач освітнього ступеня  
доктора філософії**Київський національний  
університет  
будівництва і  
архітектури****Zapryvoda A.**Doctor of Technical Sciences,  
senior researcher, professor**Nechyporuk V.**

recipient of the PhD degree

**Kyiv National University of  
Civil Engineering and  
Architecture**

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ, ПАРАМЕТРІВ  
ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОЇ  
ПЛИТИ ПРИ УЛАШТУВАННІ ДОРІГ © 2026  
by Запривода А. В., Нечипорук В. Г. is  
licensed under CC BY 4.0

**УДК 625.855:534.1****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-1-11**

## **ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ, ПАРАМЕТРІВ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОЇ ПЛИТИ ПРИ УЛАШТУВАННІ ДОРІГ**

Сучасне дорожнє будівництво висуває надзвичайно високі вимоги до якості та довговічності бетонних покриттів, що безпосередньо залежить від технічного стану та надійності робочих органів ряду будівельної техніки. Важливе місце займають укладальники, які суттєво визначають якість початкового етапу формування дорожнього полотна. Серед функціональних вузлів укладальників, важлива роль належить вібраційним плитам. Їх режими, параметри та надійність розглядається як інтегральна властивість, що має забезпечувати якісне ущільнення та задану надійність встановленого періоду експлуатації. Разом з тим, існуючі розрахунки ґрунтуються на емпіричних або на пів емпіричних залежностях взаємовпливу робочих органів та оброблювальних середовищах. Внаслідок цього в неповній мірі реальні режими та параметри відповідають розрахунковим, що приводить до неякісного результату ущільнення суміші, збільшення довго тривалості процесу та передчасного виходу із ладу деталей вібраційних плит. Обумовлено це складністю процесів, що відбуваються в системі «машина – середовище» та відсутністю загальноприйнятої розрахункової моделі, яка адекватно відображає реальний процес. В роботі вирішення проблеми обумовлено наступними гіпотезами. Застосування комплексного та системного підходу до розгляду розрахункової моделі «машина – середовище» як дискретно – континуальної із урахуванням взаємного впливу цих підсистем між собою. А визначення надійності робочого життєвого циклу вібраційної плити здійснюється на основі енергетичної гіпотези, яка дозволяє врахувати не лише час роботи, а й інтенсивність навантаження. На основі цих гіпотез сформульована мета роботи, яка полягає у визначенні раціональних технологічних та енергетичних параметрів процесів ущільнення та прогнозування сервісного обслуговування деталей та вібраційної плити в цілому. Отримані результати відкривають можливість для використання при проектуванні та створення ефективних вібраційних плит та подібних вібраційних машин.

**Ключові слова:** вібраційна плита, дорожнє полотно, суміш, модель, параметри, надійність.

**Вступ.** Сучасні темпи розвитку дорожнього будівництва висувають підвищені вимоги до якості, довговічності та експлуатаційної надійності дорожніх покриттів. Одним із ключових етапів формування дорожнього полотна є процес укладання та попереднього ущільнення бетонних або асфальтобетонних сумішей, який здійснюється спеціалізованими дорожніми

машинами. Значну роль у забезпеченні необхідної щільності, рівності та однорідності шару відіграють укладальники, а саме їхні робочі органи — вібраційні плити, які виконують функцію первинного формування та ущільнення матеріалу.

Ефективність роботи вібраційної плити значною мірою визначається раціональним вибором режимів коливань, конструктивних



параметрів та динамічних характеристик системи. У процесі роботи плита взаємодіє з в'язкопружним середовищем дорожньої суміші, що призводить до виникнення складних коливальних процесів у системі «вібраційна машина – оброблюване середовище». Характер цих процесів визначає інтенсивність ущільнення матеріалу, рівномірність формування шару покриття, а також рівень динамічних навантажень, які сприймають конструктивні елементи робочого органу. Разом з тим існуючі методи розрахунку параметрів та режимів роботи вібраційних плит здебільшого базуються на залежностях, що відображають тільки процес ущільнення та взаємодії плити з середовищем [1]. У більшості випадків подібні підходи не враховують комплексного впливу динамічних факторів, надійності, контролю напрацювання на відмову змінних властивостей суміші, нелінійності контактної взаємодії та змінного характеру навантажень у процесі експлуатації. Унаслідок цього фактичні режими роботи вібраційної плити можуть суттєво відрізнятися від розрахункових, що призводить до зниження якості ущільнення, збільшення тривалості технологічного процесу, підвищених енергетичних витрат та передчасного зношування або руйнування окремих елементів конструкції.

#### **Аналіз останніх досліджень.**

Дослідженню та визначенню параметрів та енергетичних показників вібраційної техніки присвячено ряд робіт. Так, в роботі [2] при дослідженні вібромайданчика з просторовими коливаннями використана дискретна модель. В роботі [3] використана дискретна модель в дослідженні процесів сортування вібраційним грохотом. В роботі [4] при моделюванні вібраційного змішувача приведена дискретна модель. Отримані результати досліджень в рамках дискретної моделі справедливі виключно в межах проведених досліджень. Дискретно-континуальна модель прийнята в роботах [5,6] є більш реальною, проте закони зміни властивостей ущільнюючого матеріалу потребують корекції. Питання забезпечення якості дорожнього покриття на стадії укладання безпосередньо пов'язане з роботою ущільнювальних і формувальних органів укладальника, серед яких вібраційна плита займає одне з визначальних місць. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що саме етап попереднього ущільнення суміші в зоні дії плити суттєво впливає на щільність шару, його однорідність, рівність поверхні та подальшу довговічність дорожнього одягу [7,8]. Водночас у цитованих роботах [7-8] процес досі описується переважно через інтегральні показники щільності або технологічні регламенти, без достатньо глибокого врахування реальної динамічної взаємодії між робочим органом і в'язкопружним середовищем суміші. Це призводить до того, що експлуатаційні режими вібраційної плити часто

призначаються на основі досвіду або спрощених рекомендацій, а не на базі фізично адекватної моделі системи «машина – середовище».

У роботі [9] запропоновано нелінійну динамічну модель взаємодії суміші та плити, яка показала, що ефективність попереднього ущільнення визначається не лише частотою збудження, а й нелінійними властивостями середовища та режимом передачі енергії в шар матеріалу. В роботі [10] для аналізу попереднього ущільнення застосовано метод дискретних елементів де зазначено, що емпіричне оцінювання щільності не дозволяє розкрити внутрішні механізми контакту плити з сумішшю, перерозподіл частинок і локальні зони недоущільнення. У роботі [11] побудовано просторові динамічні моделі вібраційної системи укладальника, досліджено вертикальні, кутові та просторові коливання, а як критерії ефективності використано середньоквадратичні значення прискорень, що характеризують як ущільнювальну здатність, так і стабільність роботи. В роботі [12] досліджено багатокритеріальну оптимізацію робочих параметрів – частот збудження, кутів відхилення трамбувальних елементів, співвідношення динамічних параметрів системи. Показано, що зміна цих параметрів істотно впливає не тільки на щільність і рівність покриття, а й на рівень вібраційних навантажень у самій конструкції плити. Разом з тим більшість таких моделей залишається зосередженою на задачі керування процесом ущільнення і лише побічно торкається питань довговічності та ресурсу деталей. В роботі [13] приведені дослідження виявлення ступеня ущільнення за сигналами вібрації робочого органу, встановивши зв'язок між жорсткістю гарячої суміші та параметрами вібраційного відгуку.

В роботі [14] написано, що для успішного попереднього ущільнення суттєве значення має зсувний процес у зоні контакту плити з сумішшю, тоді як дані щодо коефіцієнта тертя між сумішшю та плитою залишаються обмеженими, а сам вплив зсуву довгий час майже не вивчався. Саме тому спрощені лінійні моделі або моделі з одним узагальненим коефіцієнтом опору не забезпечують належної точності при визначенні режимів і параметрів роботи укладальника.

Проблема надійності вібраційної плити в літературі висвітлена значно слабше, ніж проблема технологічної ефективності ущільнення. У публікаціях з вібраційної втомки машинобудівних конструкцій наголошується, що оцінювання ресурсу за одним лише часом роботи або числом циклів не завжди є достатнім, особливо за змінних спектрів навантаження, резонансних режимів і випадкового характеру збудження. Дослідження, що описані в роботі [15], засвідчують, що сучасна теорія вібраційної втомки дедалі більше орієнтується на енергетичні, спектральні та



ймовірнісні критерії пошкодження, оскільки саме вони краще враховують реальну інтенсивність дії навантаження. Для дорожньо-будівельних машин це особливо актуально: однакові напруження в годинах може відповідати принципово різним умовам роботи залежно від жорсткості суміші, температури, режиму збудження, коливальної стійкості та наявності ударно-резонансних явищ. Тому перехід до енергетичної оцінки життєвого циклу деталей вібраційної плити є логічним розвитком сучасних підходів, хоча в доступних працях для укладальників та їх вібраційних плит такі методики ще не набули системного впровадження.

Отже, аналіз літератури свідчить, що наукові джерела достатньо ґрунтовно висвітлюють окремі аспекти роботи вібраційної плити: динаміку коливань, попереднє ущільнення суміші, оптимізацію параметрів збудження, а також цифровий моніторинг технологічного процесу. Водночас залишаються недостатньо розробленими питання комплексного визначення режимів і параметрів роботи в межах єдиної моделі «машина – середовище», у якій би одночасно враховувалися дискретні параметри конструкції робочого органу, континуальні властивості оброблюваного середовища, нелінійна контактна взаємодія, температурно-реологічні чинники та накопичення пошкоджень у деталях плити. Саме ця наукова прогалина обґрунтовує доцільність системного підходу, покладеного в основу даної роботи, де визначення раціональних технологічних і енергетичних параметрів процесу ущільнення поєднується з прогнозуванням надійності та сервісного обслуговування вібраційної плити.

Отже, підвищення ефективності процесу укладання та ущільнення дорожніх сумішей значною мірою визначається вдосконаленням конструкцій вібраційних плит укладальників, а також раціональним вибором режимів їх роботи. Сучасні тенденції розвитку дорожньо-будівельної техніки спрямовані на підвищення якості формування дорожнього покриття, зниження енерговитрат, збільшення надійності машин та стабільності технологічного процесу ущільнення. Досягнення цих цілей потребує комплексного підходу до дослідження динамічних процесів у системі «вібраційна плита – дорожня суміш», визначення раціональних параметрів коливального збудження та оцінювання надійності роботи конструктивних елементів робочого органу.

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є визначення режимів, параметрів та надійності роботи вібраційної плити при улаштуванні доріг. Для досягнення означеної мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі: – дослідити основні конструктивні та технологічні параметри вібраторів;

– обґрунтувати динамічні параметри вібраційної плити з урахуванням особливостей взаємодії системи «машина – середовище»;

– оцінити надійність та довговічності елементів вібраційної плити.

**Матеріали і методи досліджень.** Об'єкт дослідження - процес взаємодії вібраційної плити з дорожньою сумішшю та надійність її елементів. Дослідження вібраційної плити (рис.1) ґрунтується на визначенні режимів та параметрів її коливань в різних точках(1 – 4) та надійності конструктивних елементів.

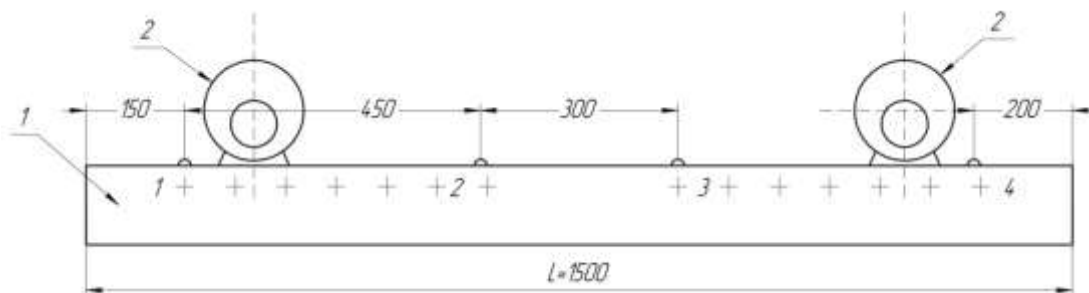


Рис.1. Вібраційна плита: 1 – плита; 2 –вібратори

Оцінка конструктивних та енергетичних параметрів вібраторів плити здійснювалася за трьома критеріями:  $K_1 = m_0 g_0 = F/\omega^2$ ;  $K_2 = F/m$ ;  $K_3 = a/g = (x_0 \omega^2)/g$ . Тут  $m_0 g_0$  – статичний момент маси дебалансів;  $F$  – змушуюча сила вібратора;  $\omega$  – частота коливань;  $m = m_{пл.} + m_{ск}$ ;  $m_{пл.}$  – маса плити;  $m_{с}$  – маса суміші;  $k_p$  – хвильовий коефіцієнт, що враховує реактивний опір суміші:

$$k_p = \frac{\alpha \sin 2\alpha h + \beta \sin 2\beta h}{h(\alpha^2 + \beta^2)(\cos 2\alpha h + \cos 2\beta h)},$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{1+\gamma^2-1}{2(1+\gamma^2)}}; \beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{1+\gamma^2+1}{2(1+\gamma^2)}}.$$

Рівняння руху сумішей описувалося хвильовим рівнянням континуальної моделі Кельвіна-Фойгта, а вплив вібраційної плити визначався дискретною моделлю у вигляді силових виразів в граничних умовах коливань системи «вібраційна плита – ущільнююча суміш». Для рішення отриманих рівнянь була розроблена програма із використанням методу Рунге-Кутта. У якості матеріалів були обрані бетонна та асфальтобетонна суміші.

**Виклад основного матеріалу.** В таблиці 1 наведені основні параметри та характеристики вібраторів найбільш відомих фірм.

Таблиця 1.

## Основні числові значення параметрів вібраторів

№	Назва	Частота, $\omega$ рад/с	Змушуюча сила, F, Н	Маса, m, кг
1	Kemp Vibration HSV - 24	1130	62230	19.5
2	Bianchi VP-6000	1150	60000	17.5
3	Brecon 18 600 001	1150	60000	18.0
4	Navco UV L62Y	376	63000	180
5	Nettervibration NEG 506220	630	62970	181
6	ИБ-60-50	314	60000	219
7	Nettervibration NHG 6000L	314	61206	96
8	Nettervibration CCV-6-25-8HA	408	49210	40.6
9	Martin -eng HSV18-8300	188	37000	48.5

Як слідує із таблиці, основний параметр – частота коливань змінюється в широких межах від 188 до 1150 рад/с, що свідчить про різні можливості динамічних параметрів для

використання на практиці. На основі цих значень у відповідності до методики досліджень даних були розраховані критерії (табл.2).

Таблиця 2

## Критерії оцінки вібраторів

№	Назва	$K_1$	$K_2$	$K_3$
1	Kemp Vibration HSV - 24	0.049	3191	39.07
2	Bianchi VP-6000	0.045	3428	40.53
3	Brecon 18 600 001	0.045	3333	40.53
4	Navco UV L62Y	0.443	350	4.34
5	Nettervibration NEG 506220	0.159	347	12.06
6	ИБ-60-50	0.608	273	4.71
7	Nettervibration NHG 6000L	0.62	637	4.71
8	Nettervibration CCV-6-25-8HA	0.295	1218	5.09
9	Martin -eng HSV18-8300	1.04	445	1.08

За визначеними в результаті оцінки і аналізу параметрами вібраторів (табл.2) було засвідчено, що їх використання у якості збудників коливань вібраційної плити має сенс для покращення загальних характеристик плити, а також відкриває можливість усунення недоліків, таких як недостатньо рівномірний розподіл амплітуд коливань по площі плити, полегшення і спрощення конструкції його рами. У відповідності до прийнятої гіпотези використана математична модель, що враховує як дискретні (плита) так і розподілені (суміш) параметри (рис.2)

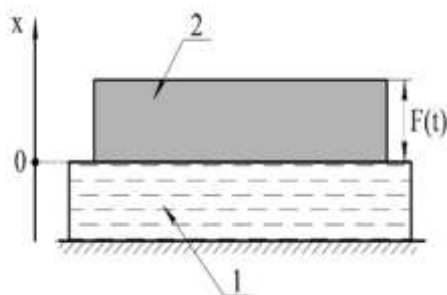


Рис.2. Розрахункова модель системи «вібраційна плита – ущільнювальна суміш»: 1 – суміш; 2 – плита;  $F(t)$  – вимушена сила;  $x$  – координата.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c(1+i\varphi)} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

де  $u$  – переміщення шарів суміші;  $t$  – поточний час;  $c$  – швидкість розповсюдження хвиль в суміші;  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує розсіяння енергії в суміші;  $i$  – мнима одиниця, яка вказує зсув на 90 градусів сили пружності до сили опору.

Для вирішення рівняння (1) необхідно прийняти метод та визначити граничні умови у вигляді певних сил. Для рішення рівняння (1) використано метод Фур'є:

$$u(x, t) = u_x e^{i\omega t} \quad (2)$$

де

$$u_x = A_1 e^{x(\alpha+i\beta)} + A_2 e^{-x(\alpha+i\beta)} \quad (3)$$

Тут  $A_1$  і  $A_2$  – постійні коефіцієнти, знаходження яких є процедурою визначення граничних умов, а коефіцієнти  $\alpha$  і  $\beta$  – враховують розсіяння енергії. Для визначення  $\alpha$  і  $\beta$  знайдемо значення похідних другого порядку залежності (3):

факторів, а й визначити критичні зони параметрів, за яких фізична стабільність



емульсії досягається без суттєвої втрати біологічної цінності та органолептичних показників жирової фази.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = (\alpha + i\beta)(A_1 e^{x(\alpha+i\beta)} + A_2 e^{-x(\alpha+i\beta)}) \quad (4)$$

Підставляємо (4) і (5) в (2) і після нескладних перетворень отримаємо:

$$(\alpha + \beta)^2 = -\frac{\omega^2}{c^2(1+i\varphi)} \quad (6)$$

Помноживши чисельник і знаменник правої частини на  $1 + i\varphi$  отримаємо залежність для визначення коефіцієнтів  $\alpha$  і  $\beta$  у комплексному вигляді:

$$\alpha^2 - \beta^2 + 2\alpha\beta i = -\frac{\omega^2}{c^2(1+i\varphi)} + i \frac{\omega^2\varphi}{c^2(1-i\varphi)} \quad (7)$$

Здійснюючи процедуру розділення на умовну і дійсну частини залежності (7), отримаємо:

$$\alpha^2 + \beta^2 = \frac{\omega^2}{c^2(1+\varphi^2)}; \quad 2\alpha\beta = \frac{\omega^2\varphi}{c^2(1+\varphi^2)} \quad (8)$$

де

$$\mu = \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{2(1+\gamma^2)}}; \quad \nu = \sqrt{\frac{\sqrt{1+\gamma^2}+1}{2(1+\gamma^2)}} \quad (10)$$

Коефіцієнти у (10) враховують розсіювання енергії в середовищі.

Тепер визначаємо граничні умови:

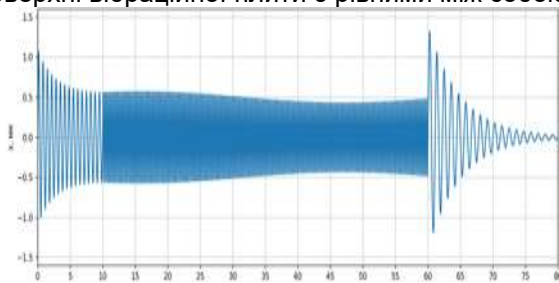
$$x=h; \quad u=0. \quad (11)$$

де  $h$  – висота шару суміші.

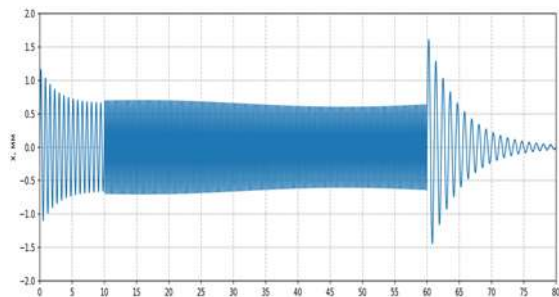
Враховуючи (11) та (3) отримуємо перше рівняння для визначення коефіцієнтів  $A_1$  і  $A_2$ :

$$A_1 = -A_2 e^{-2h(\alpha+i\beta)} \quad (12)$$

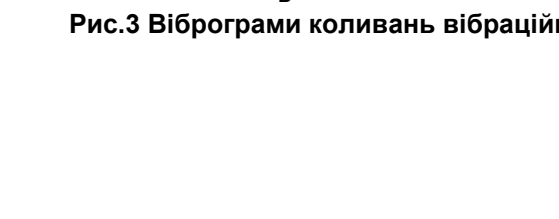
За умови, що в зоні контакту координата  $x=0$ , переміщення ущільнювальної суміші і поверхні вібраційної плити є рівними між собою:



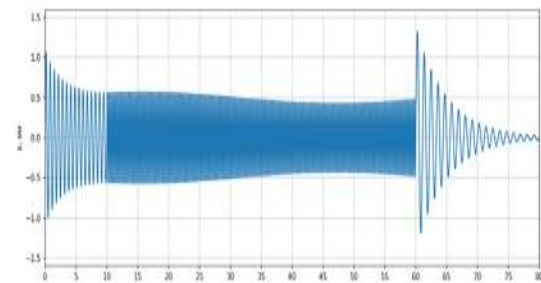
а



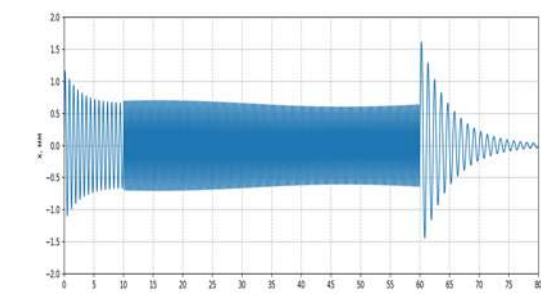
б



в



г



д

Рис.3 Віброграми коливань вібраційної плити в точках: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4.

$$u_o = x_o = [A_1 + A_2] e^{i\omega t}. \quad (13)$$

Друге рівняння для визначення коефіцієнтів  $A_1$  і  $A_2$  отримаємо, розглядаючи умови динамічної рівноваги маси плити і реакції ущільнювальної суміші в зоні їхнього контакту:

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = [F e^{i\omega t} + ES [1 + i\gamma] \frac{\partial u}{\partial x}] \quad (14)$$

де  $E$  – модуль пружності ущільнювальної суміші. Після нескладних перетворень підстановками членів в (14) отримаємо друге рівняння:

$$-m\omega^2(A_1 + A_2) - ES(1+i\gamma)(\alpha+i\beta)[A_1 - A_2] = F_o \quad (15)$$

Використовуючи вирази (15) та (12), знаходимо залежності для коефіцієнтів  $A_1$  та  $A_2$  і після їх підстановки в (3) отримаємо вираз для визначення амплітуди коливань системи «вібраційна плита» в будь-якому перетині шару суміші у вигляді

$$x(o,t) = \frac{F_o}{|m\omega^2|} \sqrt{\frac{(a^2+b^2)d}{\left[ a + \frac{m_c\omega^2}{|m\omega^2|} \right]^2 + b^2}} \quad (16)$$

$$a = \frac{h(\alpha \sin 2\alpha h - \beta \sin 2\beta h)}{ch 2\alpha h + \cos 2\beta h},$$

$$b = \frac{h(\alpha \sin 2\beta h + \beta \sin 2\alpha h)}{ch 2\alpha h + \cos 2\beta h},$$

$$d = \frac{ch\alpha(x-h) - \cos 2\beta(x-h)}{ch 2\alpha h - \cos 2\beta h} \quad (17)$$

Виконаними розрахунками виразу (16) отримані віброграми коливань вібраційної плити (рис.1) в точках 1-4 (рис.3)



Аналіз отриманих віброграм засвідчив дещо відмінні значення амплітуд коливань вібраційної плити по довжині. Так на краях амплітуди коливань склали величину 0,52мм, а в

центральної частині 0,43, що складає відмінність близько 18%. Оцінка зміни амплітуди коливань по довжині плити в залежності від ваги плити наведено на рисунку 4.

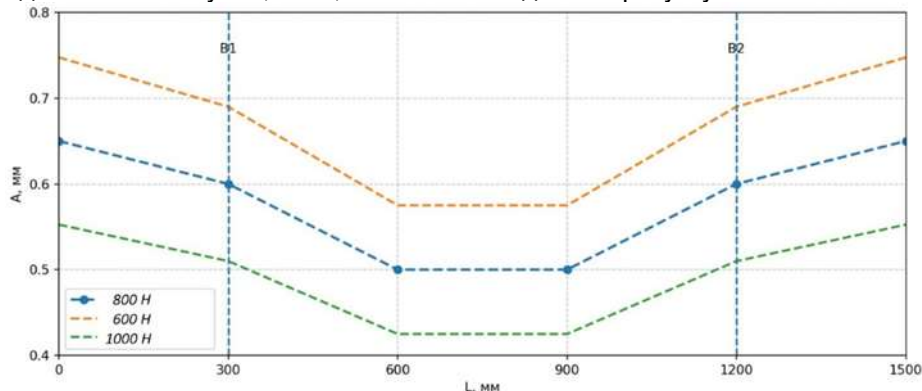


Рис. 4 Зміна амплітуди коливань по довжині плити в залежності від ваги плити

Від показників надійності основних вузлів і деталей залежить рівень технічного обслуговування будівельної техніки. Важливе місце в системі забезпечення надійності машин посідає стадія експлуатації. Вібротрамбуюча плита є одним із визначальних робочих органів асфальтоукладача, від технічного стану якого безпосередньо залежать щільність, рівність і довговічність дорожнього покриття. У процесі роботи плита функціонує в умовах одночасної дії значних динамічних навантажень, високих температур, контактного тиску та інтенсивного абразивного зношування з боку гарячої асфальтобетонної суміші. За таких умов надійність цього вузла слід розглядати як імовірнісну характеристику його здатності зберігати працездатність упродовж заданого часу за встановлених режимів експлуатації.

Особливістю роботи вібротрамбуючої плити є нерівномірний розподіл асфальтобетонної суміші перед робочим органом і під ним. Це призводить до локального зростання навантажень на окремі ділянки конструкції, насамперед на передню крайку

плити, елементи трамбуючого механізму, вузли кріплення вібробуджувачів і зони концентрації напружень. Унаслідок цього процес втрати працездатності має не лише часовий, а й виражений енергетичний та локально-зональний характер, що зумовлює необхідність застосування адекватних математичних моделей для аналізу відмов. Відмова вібротрамбуючої плити є комплексним явищем, що виникає внаслідок синергії механічних, гідравлічних та термічних чинників. Робочий орган асфальтоукладача працює за принципом «плаваючої плити», де положення агрегату залежить від балансу сил: сили тяги, опору суміші та вертикальних зусиль від трамбуючого і вібраційного механізмів[16]. Для опису надійності технічних систем використовують різні закони розподілу, кожен із яких відображає певний механізм відмов. У загальному випадку для аналізу працездатності елементів вібротрамбуючої плити можуть бути використані експоненціальний, нормальний, логнормальний та Вейбулла розподіли. Їх порівняльну характеристику наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняння математичних моделей для аналізу відмов

Модель розподілу	Тип відмов	Ключовий параметр для аналізу
Експоненціальний	Раптові, випадкові відмови	$\lambda$ – інтенсивність відмов
Нормальний (Гаусса)	Поступове механічне зношування за симетричного розсіювання ресурсу	$\mu$ – середнє значення ресурсу; $\sigma$ – середньоквадратичне відхилення
Логнормальний	Втомні процеси, корозія, деградація матеріалу	параметри масштабу та форми логнормального розподілу
Вейбулла	Комбіноване зношування, втома, старіння, локальне руйнування	$\beta$ – параметр форми; $\eta$ – параметр масштабу



Попри можливість використання кількох моделей, для оцінювання надійності вібротрамбуючої плити найбільш доцільним є розподіл Вейбулла. Його перевага полягає в тому, що він дає змогу враховувати зміну інтенсивності відмов у часі, а отже, описувати як початковий період приробітку, так і стадію стабільної роботи та подальшого інтенсивного зношування. Саме такий характер зміни технічного стану є найбільш типовим для робочих органів асфальтоукладача.

Функція надійності для розподілу Вейбулла має вигляд:

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (18)$$

де  $R(t)$  – імовірність безвідмовної роботи за час  $t$ ;  $\eta$  – характеристичний ресурс;  $\beta$  – параметр форми, що визначає характер розвитку відмов.

Інтенсивність відмов при цьому визначається залежністю.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (19)$$

За здійсненими розрахунками для значень  $\beta < 1$  переважають ранні відмови, пов'язані з початковими дефектами або нестабільністю роботи. При  $\beta = 1$  інтенсивність відмов залишається сталою, що відповідає випадковим пошкодженням. Якщо  $\beta > 1$ , процес втрати працездатності визначається накопиченням зношування, втому матеріалу та старінням, що є найбільш характерним для вібротрамбуючих плит у реальних умовах експлуатації. Для підвищення точності оцінювання надійності доцільно пов'язати параметри моделі не лише з часом роботи, а й з енергетичним навантаженням у зоні контакту плити з асфальтобетонною сумішшю. Такий підхід дозволяє врахувати нерівномірність динамічної взаємодії по довжині плити та встановити найбільш навантажені ділянки конструкції. З практичної точки зору це створює підґрунтя для вдосконалення геометрії передньої частини плити, зниження локального накопичення суміші та зменшення інтенсивності абразивного зношування її крайових елементів.

#### Висновки:

1. Використання планування Виконаний аналіз засвідчив, що відцентрові збудники коливань є найбільш ефективними за критеріями силової дії та динамічності системи. Визначено, що застосування збудників коливань дає можливість змінювати в заданому технологією діапазоні частоту коливань.

2. Обґрунтовано математичну модель та визначені динамічні параметри вібраційної плити з урахуванням особливостей взаємодії системи «машина – середовище». Визначено

розподіл амплітуд коливань по довжині вібраційної плити дає можливість використовувати залежність (16), яка реально відображає процес ущільнення суміші.

3. Вібротрамбуюча плита є одним із визначальних робочих органів асфальтоукладача. Відмова вібротрамбуючої плити є комплексним явищем, що виникає внаслідок синергії механічних, гідравлічних та термічних чинників. Визначено, що для оцінювання її надійності найбільш доцільним є розподіл Вейбулла.

#### Список використаних джерел

1. Маслов О. Г., Саленко Ю. С., Маслова Н. А. Дослідження взаємодії вібруючої плити з цементобетонною сумішшю. *Вісник КНУ імені Михайла Остроградського*. 2011. Вип 2. (67). Частина 1, с.93-98
2. Nesterenko M.P. and others. Vibration platform for forming large-sized reinforced concrete products. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019, No 5. P. 284 – 288.
3. Орищенко С.В. Теоретичні дослідження та визначення основних етапів руху вібраційного грохота. *Техніка будівництва*. – 2010. № 24. С. 44–47.
4. Ручинський М.М., Свиридчук Д.Я. Дослідження коливань вібраційного бетонозмішувача з урахуванням впливу переміщувача матеріалу. *Техніка будівництва. Науково-технічний журнал*. 2013. № 31. с. 35–42
5. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник (2-е видання): – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.
6. Nazarenko I., Zapryvoda A., Bondarenko A., Slyusar V. Determination of energy parameters of vibrating machines for compaction and formation of concrete products according to different power form of load. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2024. № 113. С. 18–28.
7. Нечипорук В., Орищенко С. Сучасні методи діагностики машин. Збірник наукових праць «Техніка будівництва». 2025. № 43. С.26–39.
8. Андрій Запривода. Дослідження розсіяння енергії за дискретно-континуальною моделлю двомісною вібраційною системою. *«Техніка будівництва»*. 2024. № 40. С.41–52.
9. C. Wang and others. Investigation on asphalt-screed interaction during pre-compaction: Improving paving effect via numerical simulation. *Construction and Building Materials*. 2021. Т. 289. С. 123164. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123164>.
10. Shi Y., Liu H., Wang G. Modeling of asphalt mixture-screed interaction: A nonlinear dynamic vibration model for improving paving



density. *Construction and Building Materials*. 2021. T. 311. C. 125296. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125296>.

11. Liem N. V., Wang P., Zhang J. Experimental research and optimal control of vibration screed system (VSS) based on fuzzy control. *Journal of Vibroengineering*. 2020. T. 22, № 6. C. 1415–1426. <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21560>

12. V. Nguyen and others. Vibration Analysis and Modeling of an Off-Road Vibratory Roller Equipped with Three Different Cab's Isolation Mounts. *Shock and Vibration*. 2018. T. 2018. P. 1–17. <https://doi.org/10.1155/2018/8527574>

13. Q. Luo and others. Study on paving compactness detection based on frequency domain characteristics of screed device vibration signal. *Construction and Building Materials*. 2024. T. 432. P. 136652 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136652>

14. Harries L., Böhm S. Influence of the Shear Process on the Compaction Success and Friction Behavior During Asphalt Paving. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s42947-022-00265-9>

15. Kamei K., Khan M. A. Current challenges in modelling vibrational fatigue and fracture of structures: a review. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2021. Vol. 43, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02777-6>

16. A discrete element simulation study of paver screed and hot mix asphalt interaction URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12059008/> (дата звернення 10 лютого 2026 року)

### References

1. Maslov O. G., Salenko Yu. S., Maslova N. A. Research on the interaction of a vibrating plate with a cement-concrete mixture. *Bulletin of the Mykhailo Ostrogradsky Kyiv National University*. Issue 2/2011 (67). Part 1, p. 93-98

2. Nesterenko M.P. and others. Vibration platform for forming large-sized reinforced concrete products // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019, No. 5. – P. 284 – 288.

3. Oryshchenko S.V. Theoretical studies and determination of the main stages of the movement of a vibrating screen. *Construction technology*. – 2010. – No. 24. – P. 44–47.

4. Ruchinsky M.M., Svyrydyuk D.Ya. Research of vibrations of a vibrating concrete mixer taking into account the influence of the transported material. *Construction Engineering. Scientific and Technical Journal*. Kyiv: KNUBA, 2013. No. 31. pp. 35–42

5. Nazarenko I.I. Applied problems of the theory of vibration systems: Textbook (2nd edition): – K.: Publishing House "Slovo", 2010. – 440 p.

6. Nazarenko I., Zapryvoda A., Bondarenko A., Slyusar V. Determination of energy parameters of vibrating machines for compaction and formation of concrete products according to different power form of load. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2024. No. 113. pp. 18–28.

7. Viktor Nechyporuk, Serhiy Oryshchenko. Modern methods of machine diagnostics. Collection of scientific works "Construction Engineering". 2025. No. 43. P.26–39.

8. Andriy Zapryvoda. Research on energy dissipation using a discrete-continuous model of a two-place vibration system. "Construction Technology". 2024. No. 40. P.41–52.

9. Investigation on asphalt-screed interaction during pre-compaction: Improving paving effect via numerical simulation / C. Wang and others. *Construction and Building Materials*. 2021. T. 289. C. 123164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123164>.

10. Shi Y., Liu H., Wang G. Modeling of asphalt mixture-screed interaction: A nonlinear dynamic vibration model for improving paving density. *Construction and Building Materials*. 2021. T. 311. C. 125296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125296>.

11. Liem N. V., Wang P., Zhang J. Experimental research and optimal control of vibration screed system (VSS) based on fuzzy control. *Journal of Vibroengineering*. 2020. T. 22, № 6. C. 1415–1426. URL: <https://doi.org/10.21595/jve.2020.21560>

12. Vibration Analysis and Modeling of an Off-Road Vibratory Roller Equipped with Three Different Cab's Isolation Mounts / V. Nguyen and others. *Shock and Vibration*. 2018. T. 2018. C. 1–17. URL: <https://doi.org/10.1155/2018/8527574>

13. Study on paving compactness detection based on frequency domain characteristics of screed device vibration signal / Q. Luo and others. *Construction and Building Materials*. 2024. T. 432. C. 136652. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136652>

14. Harries L., Böhm S. Influence of the Shear Process on the Compaction Success and Friction Behavior During Asphalt Paving. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s42947-022-00265-9>

15. Kamei K., Khan M. A. Current challenges in modelling vibrational fatigue and fracture of structures: a review. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2021. Vol. 43, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02777-6>

16. A discrete element simulation study of paver screed and hot mix asphalt interaction



<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12059008/> (дата звернення 10 лютого 2026 року).

#### **DETERMINATION OF MODES, PARAMETERS AND RELIABILITY OF VIBRATING PLATE OPERATION IN ROAD CONSTRUCTION**

*Modern road construction places extremely high demands on the quality and durability of concrete pavements, which directly depends on the technical condition and reliability of the working bodies of a number of construction equipment. An important place is occupied by pavers, which significantly determine the quality of the initial stage of roadbed formation. Among the functional units of pavers, an important role belongs to vibrating plates. Their modes, parameters and reliability are considered as an integral property that should ensure high-quality compaction and a given reliability of the established period of operation. At the same time, existing calculations are based on empirical or semi-empirical dependencies of the interaction of working bodies and processing environments. As a result, the real modes and parameters do not fully correspond to the calculated ones, which leads to a poor-quality result of the*

*mixture compaction, an increase in the duration of the process and premature failure of the parts of the vibrating plates. This is due to the complexity of the processes occurring in the “machine - environment” system and the lack of a generally accepted calculation model that adequately reflects the real process. In the work, the solution to the problem is determined by the following hypotheses. The use of a comprehensive and systematic approach to considering the calculation model “machine - environment” as discrete - continuous, taking into account the mutual influence of these subsystems among themselves. And the determination of the reliability of the working life cycle of the vibrating plate is carried out on the basis of the energy hypothesis, which allows taking into account not only the operating time, but also the intensity of the load. Based on these hypotheses, the goal of the work is formulated, which is to determine the rational technological and energy parameters of the compaction processes and predict the service maintenance of parts and the vibrating plate as a whole. The results obtained open up possibilities for use in the design and creation of effective vibrating plates and similar vibrating machines*

**Keywords:** vibrating plate, roadbed, mixture, model, parameters, reliability..

#### **Відомості про авторів**

**Запривода Андрій Віталійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизація технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури (проспект Повітряних сил м. Київ, 31, м. Київ, 03037 Україна, 03040, e-mail: [andzap87@gmail.com](mailto:andzap87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9171-9325>

**Нечипорук Віктор Григорович** – аспірант кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київський національний університет будівництва і архітектури пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037 E-mail: [Nikky47@ukr.net](mailto:Nikky47@ukr.net), <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>

**Zaprivoda Andriy** – candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of automation of technological processes of the Kyiv National University of Construction and Architecture (Air Force Avenue., Kyiv, 31, m. Kyiv, 03037 Ukraine, 03040, e-mail: [andzap87@gmail.com](mailto:andzap87@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9171-9325>

**Nechiporuk Viktor** – graduate student of the Department of Machines and Equipment of Technological Processes, Kyiv National University of Construction and Architecture, pr. Air Force, 31, m. Kyiv, Ukraine, 03037 E-mail: [Nikky47@ukr.net](mailto:Nikky47@ukr.net), <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>

Стаття надійшла 15.03.2026

Стаття прийнята 20.03.2026

Опубліковано 17.04.2026