

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка До кваліфікаційної роботи магістра

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при вібраційному ущільненні бетонів

Виконав: студент VI курсу, групи 601-МММ
напрямку підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дейнека Юрій Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор Коробко Б.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Аніщенко А.І.
(прізвище та ініціали)


Полтава – 2026 рік

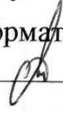
Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

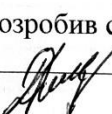

Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при вібраційному ущільненні бетонів

Лист затвердження


ГМтаМ 601МММ.004-00.00.000 КР

Технологічний контроль к.т.н., доц.
 О.С. Васильєв
„19” 01 2026р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.
 О.С. Васильєв
„19” 01 2026р.

Розробив студент групи 601-МММ
 Ю.В. Дайнека
„19” 01 2026р.
Керівник д.т.н., проф.
 Б.О. Коробко
„19” 01 2026р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки
к.т.н., доц.

 О.В. Орисенко

Гарант ОП  М.М. Нестеренко

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			Документація загальна		
3					
4			Вперше розроблена		
5					
6	A4	ГМіМ 601мММ.004-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
7	A4	ГМіМ 601мММ.004-00.00.000А	Анотація	2	
8	A4	ГМіМ 601мММ.004-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	60	
9					
10			Документація наукова		
11					
12			Вперше розроблена		
13					
14	A4	ГМіМ 601мММ.004-00.00.000ПМ	Дослідження та оптимізація		
15			конструкції вузлів кріплення форми		
16			при вібраційному ущільненні бетонів	10	
17			Презентаційні матеріали		
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

					ГМіМ 601мММ.004-00.00.000ВМ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Дейнека		19.01	Н		1
Перев.		Коробко		19.01			1
Н.контр.		Васильєв		19.01	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.		Орисенко		19.01			
Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при вібраційному ущільненні бетонів Відомість кваліфікаційної роботи магістра							

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри галузевого
машинобудування та
мехатроніки

О.В. Орисенко

"03" 09 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи магістра

Дейнека Юрія Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

«Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при
вібраційному ущільненні бетонів»

керівник д.т.н., проф. Коробко Б.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 03.09.2025 р. №1015

1. Строк подання студентом роботи 19.01.2026

2. Вихідні дані до роботи Вихідними даними для виконання кваліфікаційної роботи є: 1) лабораторна віброплощадка типу СМЖ-539-220А з частотою коливань до 2900 кол/хв, амплітудою 0,15–1,0 мм та вантажопідйомністю до 100 кг; 2) форми для виготовлення бетонних зразків із загальною масою форми та бетонної суміші до 10 кг, а також механічні й магнітні притискні пристрої для їх фіксації

3. Зміст **розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** Розділ 1: Аналіз сучасних вібраційних машин для ущільнення бетонів та умов взаємодії форм з робочою поверхнею Розділ 2: Конструктивно-технологічні особливості вібраційної установки з притискними пристроями. Розділ 3 Т Експериментальні дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші Розділ 4 Впровадження, експлуатація та оцінка ефективності модернізованої системи вібраційного ущільнення

4. **Перелік графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при вібраційному ущільненні бетонів (10 листів А4)

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Васильєв О.С.		
2	Васильєв О.С.		
3	Нестеренко М.М.	01.11.25	15.11.25
4	Нестеренко М.М.	01.11.25	15.11.25

6. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Принят
1	Аналіз літературних джерел, розрахунки	15.10.2025	+
2	Аналітичні дослідження робочого процесу обладнання	01.11.2025	+
	Підготовка та проведення досліджень	15.11.2025	+
3	Компонування пояснювальної записки	15.12.2025	+
4	Здача готової роботи	28.12.2025	+

Студент Дейнека К

Керівник роботи Коробко І

Гарант Нестеренко М

З
F
Г
К
F
З

Анотація

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми при вібраційному ущільненні бетонів» на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

Метою роботи є обґрунтування та оптимізація конструкції вузлів кріплення форм для забезпечення стабільного положення форми та ефективного, рівномірного вібраційного ущільнення бетонної суміші.

У першому розділі виконано аналіз сучасних конструкцій вібраційних столів, форм та способів їх фіксації під час ущільнення бетонів, розглянуто вплив параметрів вібраційного режиму на процес ущільнення та виявлено основні недоліки традиційних механічних систем кріплення форм. У другому розділі розроблено та обґрунтовано конструктивні рішення вузлів кріплення форм, зокрема механічних і магнітних притискних пристроїв, виконано аналітичні та числові розрахунки сил притиску, тертя і віброприскорення, а також визначено умови стабільної роботи системи «вібраційний стіл – форма – бетонна суміш». Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням впливу способу фіксації форми на рівномірність ущільнення бетонної суміші, наведено результати вимірювань щільності, переміщень форми та побудовано відповідні графічні залежності. У четвертому розділі розглянуто питання практичного впровадження модернізованої системи кріплення форм, експлуатаційні вимоги та виконано техніко-економічну оцінку ефективності запропонованої конструкції, що підтвердила доцільність її застосування в лабораторних і виробничих умовах.

Ключові слова: вібраційне ущільнення, бетонна суміш, вібраційний стіл, кріплення форми, притискна планка, магнітний притиск.

					ГМтаМ 601мММ.004-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Гіп.	Дат			
Розроб.	Дейнека			19.01			
Перев.	Коробко			19.01	Літ.	Лист	Листів
Керівн.					Н		
Н. контр.	Васильев			19.01	Анотація Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.	Орисенко			19.01			

Annotation

Master's qualification thesis entitled "Investigation and Optimization of the Design of Form Fixation Units during Vibratory Compaction of Concrete" submitted for the degree of Master in specialty 133 Industrial Engineering at the National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, 2026.

The aim of the thesis is to substantiate and optimize the design of form fixation units in order to ensure a stable position of the form and effective, uniform vibratory compaction of the concrete mixture.

In the first chapter, an analysis of modern designs of vibrating tables, forms, and methods of their fixation during concrete compaction is carried out; the influence of vibration regime parameters on the compaction process is considered, and the main drawbacks of traditional mechanical form fixation systems are identified. In the second chapter, design solutions for form fixation units, including mechanical and magnetic clamping devices, are developed and substantiated; analytical and numerical calculations of clamping forces, friction forces, and vibration acceleration are performed, and the conditions for stable operation of the system "vibrating table – form – concrete mixture" are determined. The third chapter is devoted to experimental studies of the influence of the form fixation method on the uniformity of concrete mixture compaction; the results of density measurements and form displacements are presented, and the corresponding graphical relationships are constructed. In the fourth chapter, issues of practical implementation of the modernized form fixation system and operational requirements are considered, and a technical and economic assessment of the effectiveness of the proposed design is performed, confirming the feasibility of its application under laboratory and industrial conditions.

Keywords: vibratory compaction, concrete mixture, vibrating table, form fixation, clamping bar, magnetic clamping.

						ГМмаМ 601МММ.004-00.00.000 А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження та оптимізація конструкції
вузлів кріплення форми при вібраційному
ущільненні бетонів**





Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

ГМтаМ 601мММ.004-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1. Аналіз сучасних вібраційних машин для ущільнення бетонів та умов взаємодії форм з робочою поверхнею.....	7
1.1 Аналіз конструкцій вібраційних столів і платформ для ущільнення бетонних сумішей.....	7
1.2 Аналіз сил взаємодії та умов ковзання форми на вібраційній поверхні.....	18
1.3 Огляд існуючих конструкцій вузлів кріплення форм до вібраційних столів.....	24
1.4 Висновки до розділу 1.....	28
Розділ 2: Конструктивно-технологічні особливості вібраційної установки з притискними пристроями.....	31
2.1 Опис вібраційної установки з притисною планкою та магнітною фіксацією форми.....	31
2.2 Аналіз роботи притискних пристроїв та їх вплив на стабільність положення форми під час вібраційного ущільнення.....	34
2.2.1 Сили, що діють на форму під час вібраційного ущільнення.....	36
2.2.2 Умови ковзання форми без притискання.....	36
2.2.3 Умови роботи з притисною планкою.....	37
2.2.4 Коливальний ефект ущільнення бетонної суміші.....	38
2.2.5 Розрахунок пружних опор вібраційної установки.....	38
2.2.6 Числовий приклад розрахунку параметрів вібраційного ущільнення.....	39
2.2.7 Розрахунок віброприскорення (ущільнювального ефекту).....	40
2.2.8 Розрахунок сил тертя без притискання.....	41
2.2.9 Розрахунок з механічним притисканням.....	42
Висновки до розділу 2.....	43

ГМiМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.		Дейнека		
Перев.		Коробко		
Керівник				
Н. контр.		Васильєв		19.01
Затв.		Орисенко		19.01
Зміст				
				Літ.
				Лист
				Листів
				Н 2
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

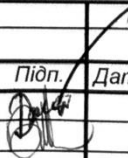
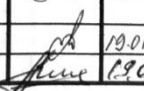
Вступ

Актуальність теми дослідження

Вібраційне ущільнення бетонних сумішей є одним із ключових технологічних процесів у виробництві збірних залізобетонних виробів, лабораторних зразків та малогабаритних бетонних елементів. Найбільш поширеними технічними засобами для реалізації цього процесу є вібраційні столи та вібраційні платформи, які забезпечують передачу коливань безпосередньо до форми з бетонною сумішшю. Проте в умовах реальної експлуатації таких машин часто спостерігається небажане явище ковзання або зміщення форми відносно робочої поверхні вібраційного столу.

Зміщення форми під дією інерційних сил, що виникають під час роботи вібробуджувачів, може призводити до порушення заданого положення форми, нерівномірного ущільнення бетонної суміші, локального недоущільнення, а в окремих випадках — до деформації форми або її падіння з вібраційної платформи. Такі явища негативно впливають на якість готових виробів, знижують надійність обладнання та підвищують ризики травматизму обслуговочного персоналу.

Незважаючи на широке застосування вібраційних столів у лабораторній та виробничій практиці, питання конструктивного забезпечення надійного кріплення форм до вібраційної поверхні часто вирішується емпірично — за допомогою притискних планок, додаткових вантажів або спрощених механічних упорів. Водночас відсутність науково обґрунтованих підходів до проєктування вузлів кріплення форм з урахуванням параметрів вібраційного режиму зумовлює актуальність проведення цілеспрямованих досліджень у цьому напрямі.

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ		
Розроб.	Дейнека						
Перев.	Коробко						
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			19.01			
Затв.	Орисенко			19.01			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	4	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Таким чином, дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форм при вібраційному ущільненні бетонів є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення якості бетонних виробів, надійності вібраційного обладнання та безпеки виробничих процесів.

Мета дослідження

Метою даної магістерської роботи є дослідження та оптимізація конструкції вузлів кріплення форми до вібраційного столу (платформи) з метою запобігання ковзанню та зміщенню форми під час вібраційного ущільнення бетонних сумішей і забезпечення рівномірного ущільнення бетону.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі основні завдання:

проаналізувати існуючі конструкції вібраційних столів і платформ, а також способи кріплення форм, що застосовуються в лабораторній та виробничій практиці;

дослідити характер сил та інерційних навантажень, які діють на форму під час вібраційного ущільнення бетонної суміші;

розробити конструктивну пропозицію вузла кріплення форми до вібраційного столу, що забезпечує надійне притискання та виключає ковзання;

виконати аналітичні розрахунки параметрів вібрації та сил притискання, необхідних для стабільного положення форми;

оцінити можливість практичного впровадження розробленого рішення, а також розглянути питання охорони праці та економічної доцільності.

					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		5

Об'єктом дослідження є процес вібраційного ущільнення бетонних сумішей на вібраційних столах і платформах.

Предметом дослідження є конструктивні та динамічні характеристики вузлів кріплення форми до робочої поверхні вібраційного столу, а також сили взаємодії, що виникають під час вібраційного впливу.

Методи дослідження

У роботі використано такі методи дослідження:

аналіз науково-технічної літератури та існуючих конструктивних рішень;

методи теорії коливань і динаміки механічних систем;

аналітичні розрахунки сил та параметрів вібрації;

узагальнення та інженерний аналіз отриманих результатів.

Практичне значення одержаних результатів

Отримані в роботі результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації вібраційних столів і платформ для ущільнення бетонів, а також у лабораторній практиці для підвищення точності та повторюваності експериментальних досліджень.

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		6

Розділ 1. Аналіз сучасних вібраційних машин для ущільнення бетонів та умов взаємодії форм з робочою поверхнею

1.1 Аналіз конструкцій вібраційних столів і платформ для ущільнення бетонних сумішей

Вібраційні столи та платформи належать до найбільш поширених машин періодичної дії, що застосовуються для ущільнення бетонних сумішей у формах під час виготовлення лабораторних зразків, дрібносерійних і збірних залізобетонних виробів. Принцип дії таких машин ґрунтується на передачі коливального руху від віброзбуджувача безпосередньо до робочої поверхні, на якій розміщується форма з бетонною сумішшю, що забезпечує її ущільнення за рахунок зменшення внутрішнього тертя та видалення повітряних включень [1, 2, 4, 29].

Найпростішим і найбільш розповсюдженим різновидом є вібраційний стіл лабораторного типу, конструкція якого передбачає жорстко закріплений або пружно встановлений стіл, до якого безпосередньо кріпиться віброзбуджувач. Коливання передаються на всю поверхню столу, внаслідок чого всі об'єкти, розміщені на ньому, зазнають вібраційного впливу. Такі установки широко застосовуються для виготовлення стандартних бетонних кубів і призм, а також малогабаритних елементів з підвищеними вимогами до однорідності структури [4, 25].

На рисунку 1.1 – Лабораторний вібраційний стіл для ущільнення бетонних зразків наведено типовий приклад такої установки. Робоча поверхня столу встановлена на пружних елементах, що дозволяє формувати заданий вібраційний режим, а віброзбуджувач забезпечує гармонічні коливання з фіксованою частотою та амплітудою.

				ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Дейнека			19.01	Н	7	
Перев.	Коробко			19.01	Национальний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			16.01			
Затв.	Орисенко			19.01			

При цьому форма з бетонною сумішшю зазвичай утримується на столі лише за рахунок власної маси та сил тертя.

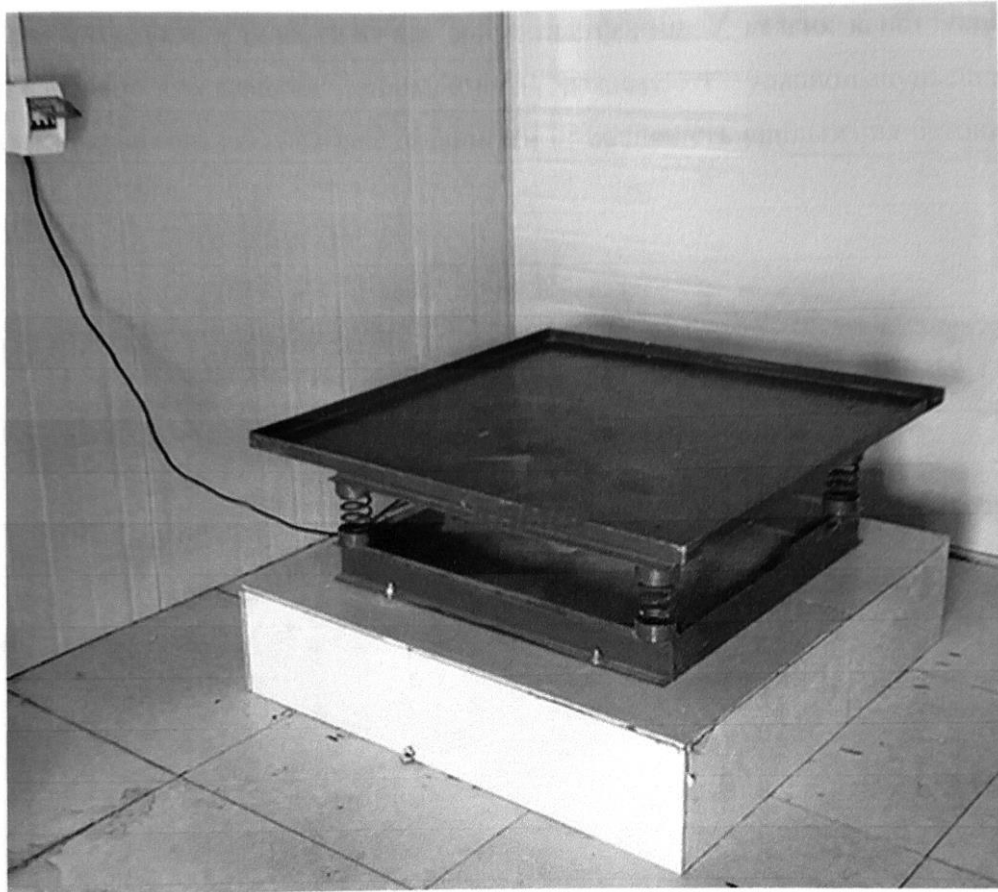


Рисунок 1.1 – Лабораторний вібраційний стіл для ущільнення бетонних зразків

Для виготовлення більших за розмірами залізобетонних виробів застосовуються вібраційні платформи, які конструктивно є аналогом вібраційного столу, але відрізняються збільшеною жорсткістю, масою та потужністю віброзбуджувачів. Такі машини використовуються під час формування електричних опор, залізничних шпал, плит перекриття та інших великогабаритних елементів [6, 24, 25].

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		9

На рисунку 1.2 – Вібраційна платформа для виготовлення збірних залізобетонних виробів показано приклад платформи промислового виконання, де робоча поверхня спирається на систему пружних опор, а вібробудувачі встановлюються знизу платформи. У деяких конструкціях передбачено поєднання вібраційного режиму з ударно-імпульсними навантаженнями, що дозволяє підвищити інтенсивність ущільнення бетонної суміші [5, 35].

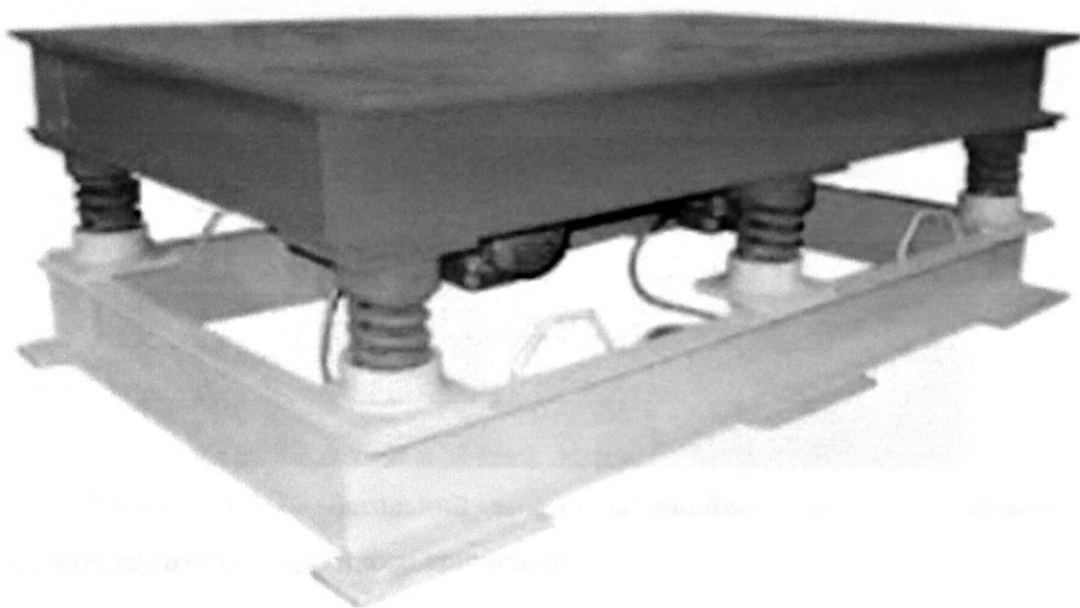


Рисунок 1.2 – Вібраційна платформа для виготовлення збірних залізобетонних виробів

Аналіз наукових досліджень показує, що ефективність роботи вібраційних столів і платформ значною мірою визначається не лише параметрами коливань, а й умовами контакту між формою та робочою поверхнею машини. В процесі вібраційного ущільнення на форму діють змінні інерційні сили, величина і напрям яких залежать від маси форми з бетонною

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		10

сумішшю, частоти та амплітуди коливань, а також від просторового характеру руху робочої поверхні [3, 7, 10].

На рисунку 1.3 – Загальний вигляд вібраційного столу з формами, встановленими без жорсткого кріплення, показано характерну схему розміщення форм під час лабораторних досліджень. За відсутності спеціальних вузлів кріплення форма утримується на поверхні столу виключно силами тертя, які в умовах інтенсивного вібраційного впливу можуть виявитися недостатніми для забезпечення її стабільного положення.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд вібраційного столу з формами, встановленими без жорсткого кріплення

У роботах [13, 21, 22, 38] встановлено, що при перевищенні певного рівня горизонтальних складових інерційних сил виникає відносно ковзання форми по робочій поверхні вібраційної машини. Це явище супроводжується порушенням симетрії навантаження, зміною умов поширення хвиль напружень у бетонній суміші та, як наслідок, нерівномірним ущільненням по висоті й площі виробу [11, 27, 33].

Особливо актуальною ця проблема є для форм з гладкою опорною поверхнею або при наявності мастильних матеріалів, що зменшують

коефіцієнт тертя. У таких випадках навіть незначні асиметрії в роботі віброзбуджувачів можуть призводити до поступового зміщення форми, її перекосу або часткового відриву від робочої поверхні, що створює передумови для виникнення аварійних ситуацій [18, 24, 41].

Таким чином, аналіз існуючих конструкцій вібраційних столів і платформ свідчить про те, що питання надійного та керованого кріплення форм до робочої поверхні залишається недостатньо опрацьованим. Більшість відомих конструкцій орієнтовані на загальну ефективність вібраційного впливу, тоді як взаємодія форми з вібраційною поверхнею розглядається як другорядний фактор. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на розроблення та оптимізацію спеціалізованих вузлів кріплення форм, що забезпечують стабільність положення та рівномірність ущільнення бетонної суміші.

Важливою конструктивною особливістю вібраційних столів і платформ є характер встановлення робочої поверхні відносно несної рами. У більшості сучасних конструкцій робоча плита спирається на систему гвинтових або гумометалевих пружних елементів, що забезпечують необхідну амплітуду коливань і зменшують передачу вібрацій на фундамент [18, 19, 24]. При цьому форма з бетонною сумішшю розміщується безпосередньо на металевій поверхні плити, що створює контакт типу «метал – метал» або «метал – полімер» з обмеженим коефіцієнтом тертя.

На рисунку 1.4 – Конструктивна схема вібраційного столу з пружним встановленням робочої плити показано типову компоновку, де віброзбуджувач розташований під плитою, а форма встановлюється у вільному положенні. За таких умов у разі наявності горизонтальних складових коливального руху або фазових зсувів у роботі віброзбуджувача виникають змінні дотичні сили, які можуть перевищувати сили тертя спокою між формою та робочою поверхнею [3, 7, 41].

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

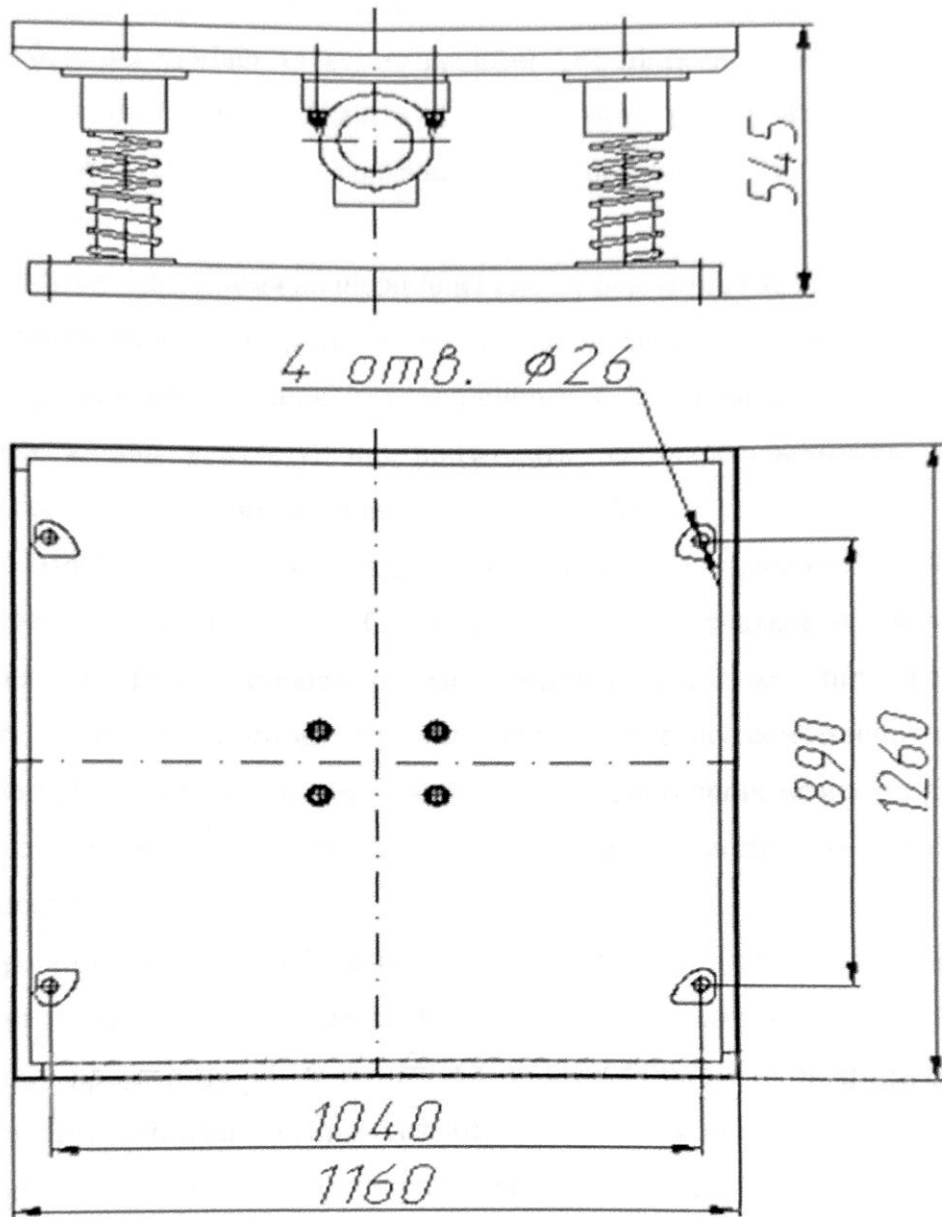


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема вібраційного столу з пружним встановленням робочої плити

Аналіз експериментальних і теоретичних досліджень показує, що характер взаємодії форми з вібраційною поверхнею істотно залежить від режиму збудження. Для гармонічних вертикальних коливань основним

фактором стабільності положення форми є співвідношення між вагою системи «форма – бетонна суміш» та вертикальними інерційними силами [1, 11]. Водночас у реальних умовах вібраційний рух часто має просторовий характер, що супроводжується появою горизонтальних прискорень і крутильних моментів [10, 27].

На рисунку 1.5 – Схема дії інерційних сил на форму під час просторових коливань вібраційної платформи умовно показано складові сил, які діють на форму. Горизонтальні компоненти інерційних сил викликають дотичні напруження в зоні контакту, що призводить до мікропереміщень або поступового ковзання форми по поверхні столу [13, 21].

Додатковим фактором, що впливає на стабільність положення форми, є нерівномірний розподіл маси бетонної суміші в початковий період ущільнення. На ранніх стадіях процесу бетонна суміш має підвищену рухливість, а центр мас системи може зміщуватися відносно геометричної осі форми, що призводить до виникнення додаткових динамічних моментів [22, 29, 31]. Це особливо характерно для форм складної геометрії або виробів змінної висоти.

У роботах [6, 25, 38] зазначено, що при багаторазових циклах ущільнення навіть незначні переміщення форми можуть накопичуватися, що в результаті призводить до її помітного зміщення відносно початкового положення. Такі зміщення супроводжуються локальним порушенням умов ущільнення, нерівномірним розподілом щільності бетону та зниженням міцнісних характеристик готового виробу.

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Листи	№ докум.	Підп.	Дата		14

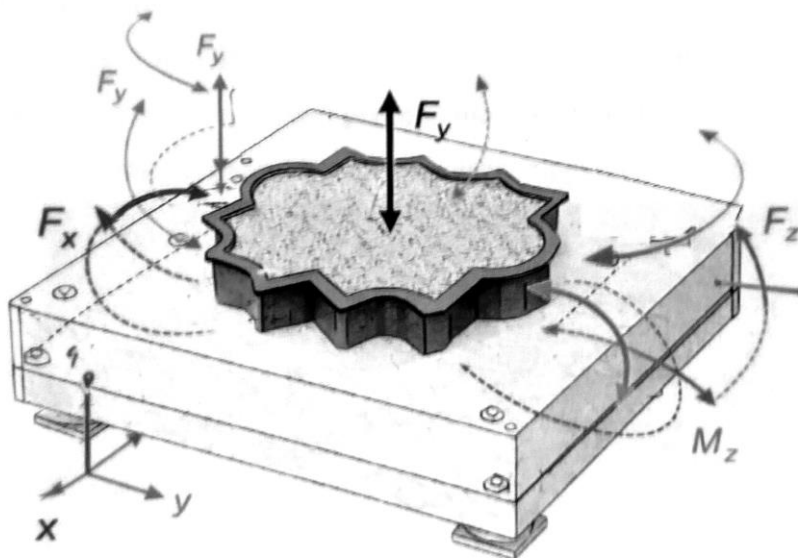


Рисунок 1.5 – Схема дії інерційних сил на форму під час просторових коливань вібраційної платформи

Слід також відзначити, що в лабораторній практиці для запобігання зміщенню форм часто застосовуються спрощені заходи, такі як збільшення маси форми, встановлення додаткових вантажів або використання гумових

прокладок між формою і робочою поверхнею. Однак такі рішення не забезпечують керованості процесу та не дозволяють врахувати зміну динамічних навантажень при переході між різними режимами вібрації [4, 24, 40].

Окрему увагу слід приділити впливу конструктивних особливостей робочої поверхні вібраційного столу на умови контакту з формою. У більшості серійних конструкцій робоча плита має гладку металеву поверхню, що з технологічної точки зору спрощує очищення та обслуговування обладнання, однак одночасно знижує коефіцієнт тертя в зоні контакту з формою [24, 25]. За наявності мастильних матеріалів або залишків цементного молочка коефіцієнт тертя може істотно зменшуватися, що підвищує ймовірність ковзання форми навіть при відносно помірних вібраційних режимах [18, 29].

На рисунку 1.6 – Вібраційний стіл з гладкою робочою поверхнею та формою без жорсткого кріплення показано типовий приклад лабораторної установки, де форма встановлюється безпосередньо на металеву плиту.



Рисунок 1.6 – Вібраційний стіл з гладкою робочою поверхнею та формою без жорсткого кріплення

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		16

За таких умов стабільність положення форми визначається переважно співвідношенням сил тертя та інерційних навантажень, що виникають під час вібраційного руху [13, 21].

Дослідження динаміки вібраційних машин показують, що навіть за умови переважно вертикального характеру коливань неможливо повністю виключити появу горизонтальних складових прискорення. Це зумовлено як конструктивними неточностями монтажу вібробуджувачів, так і асиметрією навантаження робочої плити формами різної маси та геометрії [7, 10, 41]. У таких випадках система «вібраційний стіл – форма – бетонна суміш» переходить у режим складного просторового руху, що супроводжується появою дотичних сил у площині контакту.

На рисунку 1.7 – Схематичне зображення відносного зміщення форми по поверхні вібраційного столу показано механізм виникнення ковзання внаслідок дії горизонтальних інерційних сил.

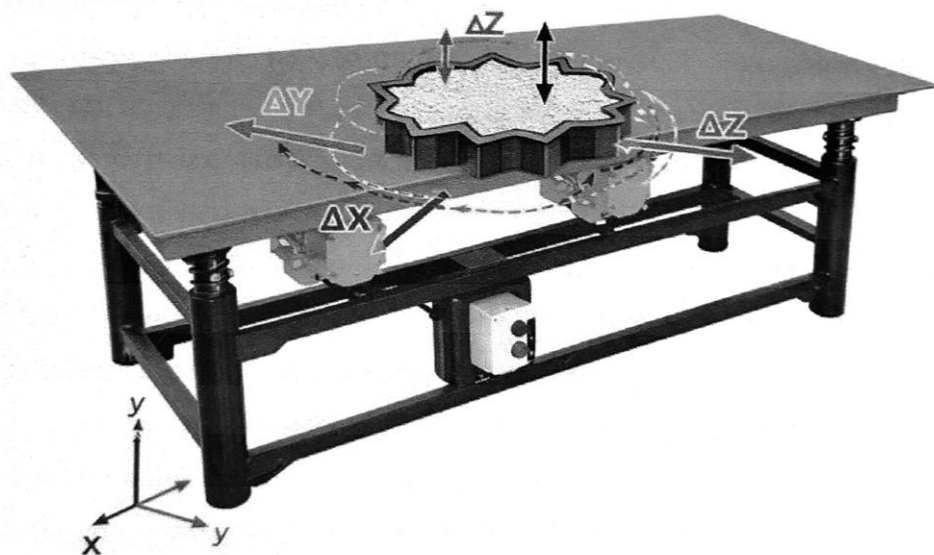


Рисунок 1.7 – Схематичне зображення відносного зміщення форми по поверхні вібраційного столу

					ГМіМ.601ммММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

Початково переміщення мають мікроскопічний характер, однак при багаторазових циклах коливань вони накопичуються та призводять до помітного зміщення форми відносно початкового положення [22, 38].

Особливо несприятливі умови спостерігаються при ущільненні бетонних сумішей з підвищеною рухливістю або легких бетонів, де інерційний внесок середовища істотно змінюється в процесі ущільнення [11, 12, 14]. У таких випадках змінюється як приведена маса системи, так і характер взаємодії бетонної суміші з формою, що ускладнює забезпечення стабільного положення форми протягом усього циклу ущільнення.

У роботах [1, 3, 27, 33] показано, що зміна умов контакту між формою та вібраційною поверхнею безпосередньо впливає на поширення хвиль напружень у бетонній суміші. При ковзанні або частковому відриві форми від робочої плити порушується хвильова картина ущільнення, що призводить до локального зниження ефективності вібраційного впливу та формування неоднорідної структури бетону.

Таким чином, результати аналізу конструкцій вібраційних столів і платформ, а також умов взаємодії форм з робочою поверхнею свідчать про те, що відсутність спеціалізованих засобів кріплення форм є суттєвим недоліком існуючих технічних рішень. Забезпечення стабільного положення форми лише за рахунок сил тертя та власної маси не гарантує рівномірності ущільнення бетонної суміші та безпеки експлуатації обладнання, особливо при інтенсивних або просторових вібраційних режимах [6, 18, 24].

У зв'язку з цим виникає необхідність переходу від емпіричних підходів до науково обгрунтованого проектування вузлів кріплення форм, які повинні враховувати динамічні параметри вібраційного процесу, геометрію форм і властивості бетонної суміші. Ці питання є предметом подальшого розгляду в наступних підрозділах даного розділу.

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

1.2 Аналіз сил взаємодії та умов ковзання форми на вібраційній поверхні

Процес вібраційного ущільнення бетонної суміші супроводжується дією на форму комплексу змінних сил, що мають інерційний, контактний і хвильовий характер. У загальному випадку система «вібраційний стіл – форма – бетонна суміш» є динамічною системою з розподіленими параметрами, в якій форма виконує роль проміжної ланки між джерелом коливань і середовищем, що ущільнюється [1, 3, 11].

Під час роботи вібраційного столу на форму діють вертикальні та горизонтальні складові інерційних сил, величина яких визначається масою системи, амплітудою та частотою коливань, а також характером руху робочої поверхні. При гармонічному збудженні інерційна сила, що діє на форму, може бути представлена у вигляді добутку приведеної маси системи на прискорення коливального руху [10, 34].

На рисунку 1.8 – Схема сил, що діють на форму під час вібраційного ущільнення, наведено умовне зображення основних силових факторів. До них належать вага форми з бетонною сумішшю, нормальна реакція опори, сили тертя в зоні контакту з робочою поверхнею, а також інерційні сили, зумовлені вертикальними і горизонтальними складовими прискорення.

У разі ідеалізованого вертикального вібраційного руху стабільність положення форми визначається співвідношенням між вагою системи та вертикальною інерційною силою. За певних режимів можливе часткове розвантаження контакту або навіть короткочасний відрив форми від робочої поверхні, що істотно змінює умови передавання вібраційної енергії до бетонної суміші [1, 29, 31]. Однак у реальних умовах вібраційний рух, як правило, має просторовий характер.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

19

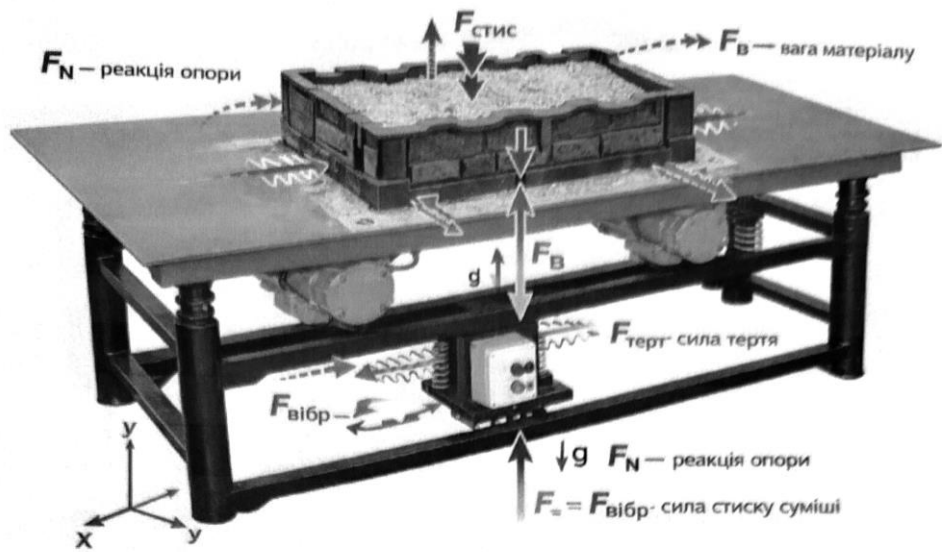


Рисунок 1.8 – Схема сил, що діють на форму під час вібраційного ущільнення

Горизонтальні складові інерційних сил виникають унаслідок конструктивної асиметрії вібраційної системи, фазових зсувів у роботі вібробудувачів або нерівномірного розподілу маси бетонної суміші у формі [7, 41]. Саме ці сили є основною причиною ковзання форми по поверхні вібраційного столу.

На рисунку 1.9 – Механізм виникнення ковзання форми по робочій поверхні вібраційного столу показано, що ковзання розпочинається у випадку, коли горизонтальна складова інерційної сили перевищує граничну силу тертя спокою. При цьому на початковому етапі спостерігаються мікропереміщення, які з часом переходять у стійке ковзання [13, 21, 22].

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		20

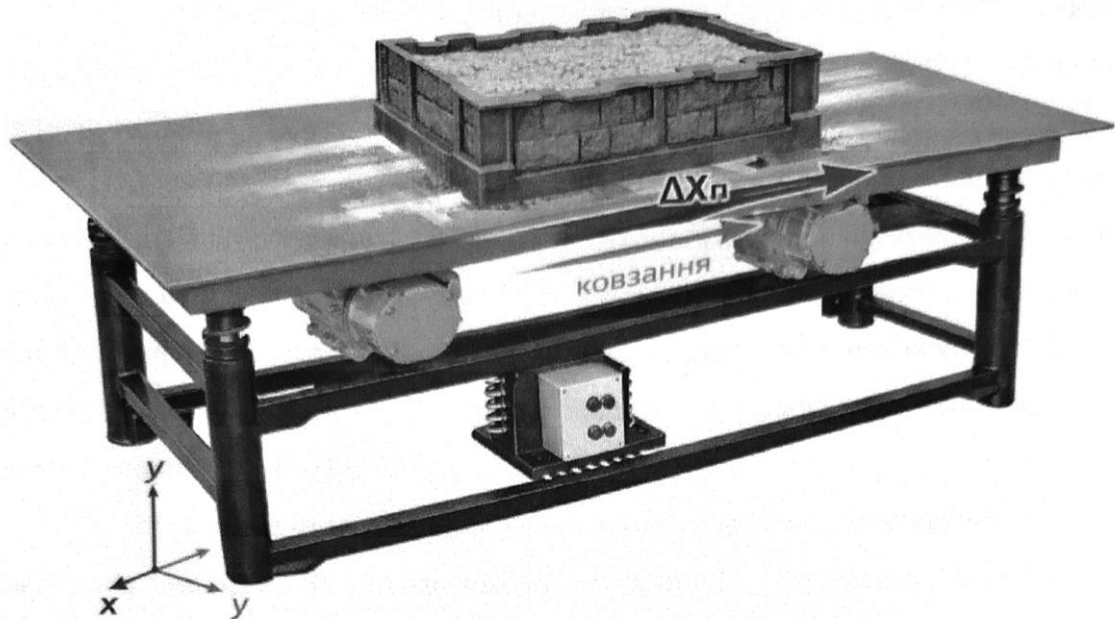


Рисунок 1.9 – Механізм виникнення ковзання форми по робочій поверхні вібраційного столу

Сила тертя між формою та робочою поверхнею визначається нормальним тиском і коефіцієнтом тертя, який залежить від матеріалу поверхонь, їхнього стану та наявності проміжних шарів. У процесі ущільнення бетонної суміші коефіцієнт тертя може змінюватися внаслідок появи цементного молочка або вологи, що додатково знижує стабільність положення форми [24, 29].

Особливо складною є ситуація на початкових стадіях ущільнення, коли бетонна суміш має високу рухливість. У цей період змінюється приведена маса системи, а центр мас може зміщуватися відносно геометричної осі форми, що призводить до виникнення додаткових динамічних моментів [11, 12, 14]. Такі ефекти посилюють горизонтальні коливання та збільшують імовірність ковзання.

У роботах [3, 27, 33] показано, що ковзання або нестабільний контакт форми з робочою поверхнею негативно впливає на хвильові процеси в

ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

21

бетонній суміші. Порушення умов контакту призводить до спотворення картини розповсюдження хвиль напружень, що, у свою чергу, викликає нерівномірність ущільнення по висоті та площі виробу.

На рисунку 1.10 – Вплив нестабільного контакту форми з вібраційною поверхнею на рівномірність ущільнення бетонної суміші схематично показано зони недоущільнення, які можуть формуватися внаслідок відносного зміщення форми. Такі дефекти структури бетону особливо небезпечні для відповідальних конструкцій і призводять до зниження міцності та довговічності виробів [1, 38, 40].

Важливим аспектом аналізу умов ковзання форми є врахування часової змінності динамічних навантажень у процесі ущільнення. Параметри вібраційного впливу, зокрема ефективна амплітуда прискорень, можуть змінюватися внаслідок переходу системи через резонансні області або зміни жорсткісних і масових характеристик у міру ущільнення бетонної суміші [3, 7, 10]. Це призводить до нестаціонарного характеру інерційних сил, що діють на форму, і ускладнює забезпечення її стабільного положення.

У працях [18, 34, 41] показано, що навіть незначні фазові зсуви між складовими коливального руху можуть спричинити появу додаткових дотичних навантажень у площині контакту. За таких умов сила тертя спокою періодично зменшується або втрачає стабілізуючу роль, що створює передумови для циклічного ковзання форми з малими, але накопичуваними переміщеннями.

					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		22

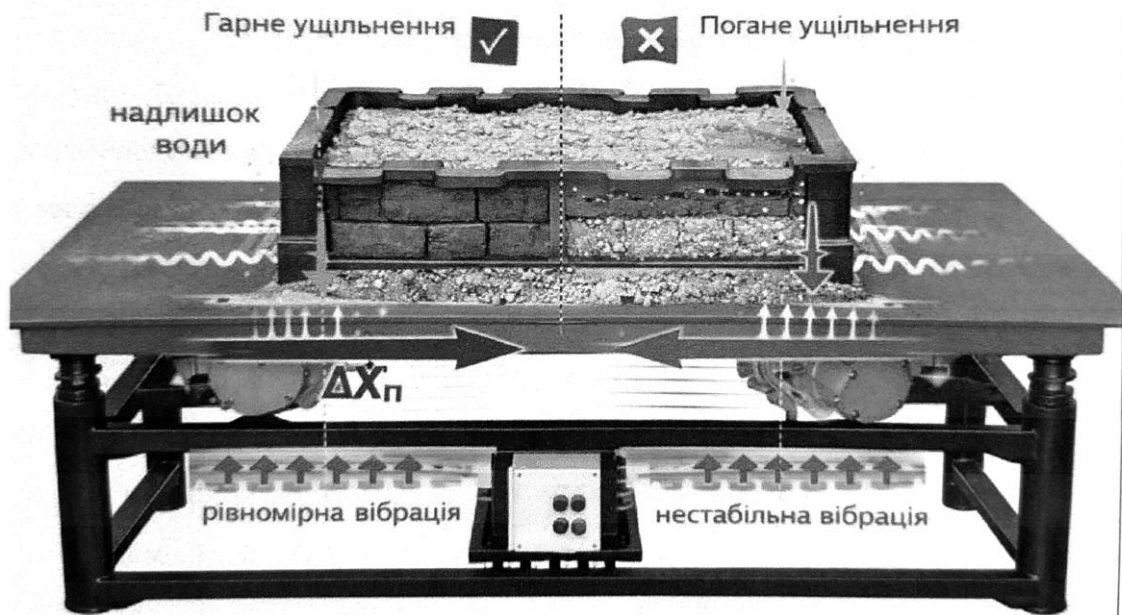
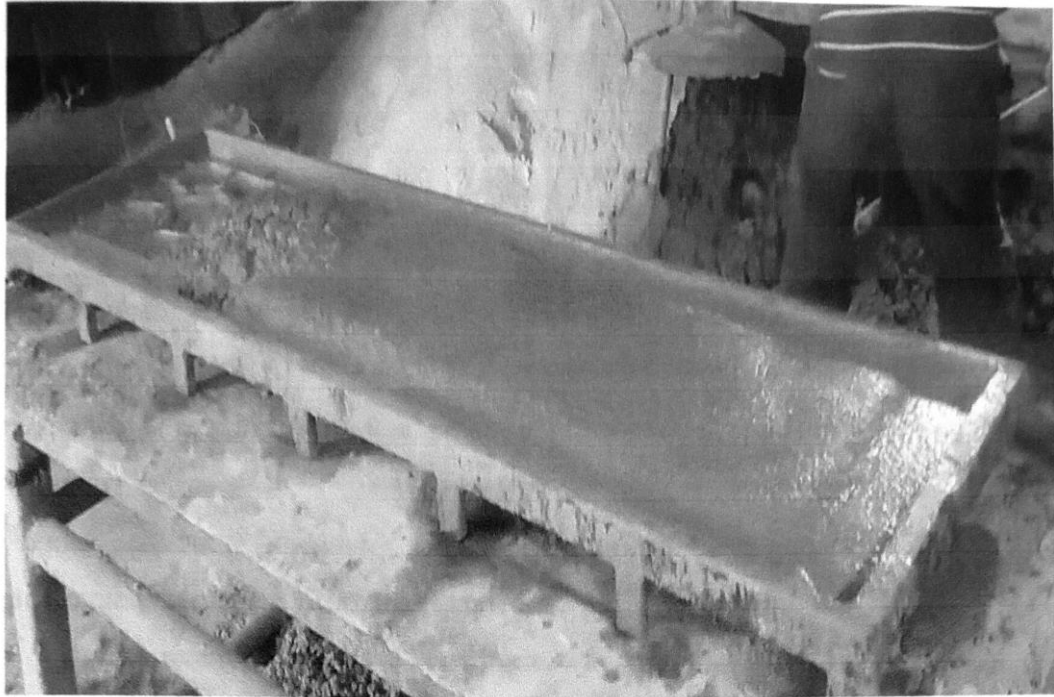


Рисунок 1.10 – Вплив нестабільного контакту форми з вібраційною поверхнею на рівномірність ущільнення бетонної суміші

Суттєвий вплив на умови ковзання має співвідношення між масою форми, масою бетонної суміші та жорсткістю опор вібраційного столу. Зі

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

23

збільшенням маси системи зростає нормальна сила в зоні контакту, що підвищує граничну силу тертя. Водночас збільшення маси призводить до зростання інерційних сил при тих самих значеннях прискорення, що частково нівелює стабілізуючий ефект [1, 11, 29]. Таким чином, просте збільшення маси форми не є універсальним засобом запобігання ковзанню.

Окремої уваги потребує вплив геометрії форми на розподіл контактних напружень. Форми з відносно малою опорною площею або з нерівномірним розподілом маси створюють локальні зони підвищеного тиску, де ефективний коефіцієнт тертя може істотно відрізнятись від середнього значення [22, 38]. У таких випадках ковзання може розпочинатися локально, з подальшим переходом у загальне зміщення форми.

Встановлено, що для бетонних сумішей з високою рухливістю характерним є інтенсивний перерозподіл маси на початкових стадіях ущільнення, що супроводжується зміною положення центру мас системи «форма – бетонна суміш» [12, 14, 31]. Це призводить до виникнення змінних динамічних моментів відносно опорної поверхні, які додатково ускладнюють умови стійкого контакту та сприяють розвитку ковзання.

У роботах [27, 33] підкреслюється, що нестабільний контакт форми з вібраційною поверхнею негативно впливає не лише на рівномірність ущільнення, а й на енергетичні показники процесу. Частина енергії вібраційного впливу витрачається на подолання сил тертя при ковзанні, що знижує корисний ефект ущільнення та збільшує питомі енерговитрати.

Крім того, циклічне ковзання форми призводить до зростання динамічних навантажень на елементи вібраційного столу, що прискорює зношування контактних поверхонь і може спричиняти пошкодження або деформацію як форми, так і робочої плити [6, 24, 25]. У промислових умовах це знижує надійність обладнання та підвищує витрати на технічне обслуговування.

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24

Таким чином, результати аналізу підтверджують, що умови ковзання форми на вібраційній поверхні визначаються сукупністю взаємопов'язаних факторів, до яких належать параметри вібраційного режиму, масово-геометричні характеристики форми, властивості бетонної суміші та стан контактних поверхонь. Відсутність цілеспрямованого керування цими факторами зумовлює нестабільність процесу ущільнення і знижує якість готових виробів [1, 3, 18].

1.3 Огляд існуючих конструкцій вузлів кріплення форм до вібраційних столів

Під час вібраційного ущільнення бетонних сумішей на вібраційних столах і платформах стабільність положення форми відносно робочої поверхні визначається не лише параметрами коливань, а й конструкцією та працездатністю вузлів фіксації. Як показано в дослідженнях взаємодії «віброплощадка – середовище» та вібраційних режимів ущільнення, на форму діють змінні інерційні навантаження, у тому числі горизонтальні складові, які можуть перевищувати сили тертя спокою та викликати ковзання або мікрозсуви [1, 2, 3, 13]. Тому в практиці лабораторного й промислового формування застосовують різні конструктивні рішення кріплення форм, які умовно можна класифікувати за принципом створення утримувальної сили та способом обмеження ступенів вільності.

Найпростішою групою є пасивні вузли позиціювання без активного притискання — бічні упори, кутники, напрямні планки та обмежувальні борти. Такі елементи забезпечують геометричне базування форми й перешкоджають її зміщенню в межах малих амплітуд за рахунок контакту з упорами. Типово вони виконуються у вигляді знімних упорів або регульованих гвинтових елементів, що дозволяє підлаштовуватися під різні габарити форм. Водночас у режимах із підвищеними горизонтальними прискореннями, а також за

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		25

наявності циклічних асиметрій збудження, пасивні упори можуть не забезпечувати необхідної стійкості: форма починає «підбиватися» об упор, з'являються ударні взаємодії, додатковий шум, локальні перевантаження та нерівномірність ущільнення [3, 10, 41].

До поширених рішень належать вузли притискання механічного типу, де утримувальна сила створюється зовнішнім механізмом (гвинт, важіль, ексцентрик, клин). Для лабораторних вібраційних столів характерні притиски з гвинтовою парою: форма встановлюється на плиту, після чого зверху або збоку здійснюється притиск через траверсу чи притискну планку.

На рисунку 1.11 – Вібраційний стіл із ручними притискачами для фіксації форми показано приклад конструкції, де притиск реалізовано через ручні важелі/гвинти, що забезпечують стабілізацію положення форми на поверхні столу під час ущільнення.

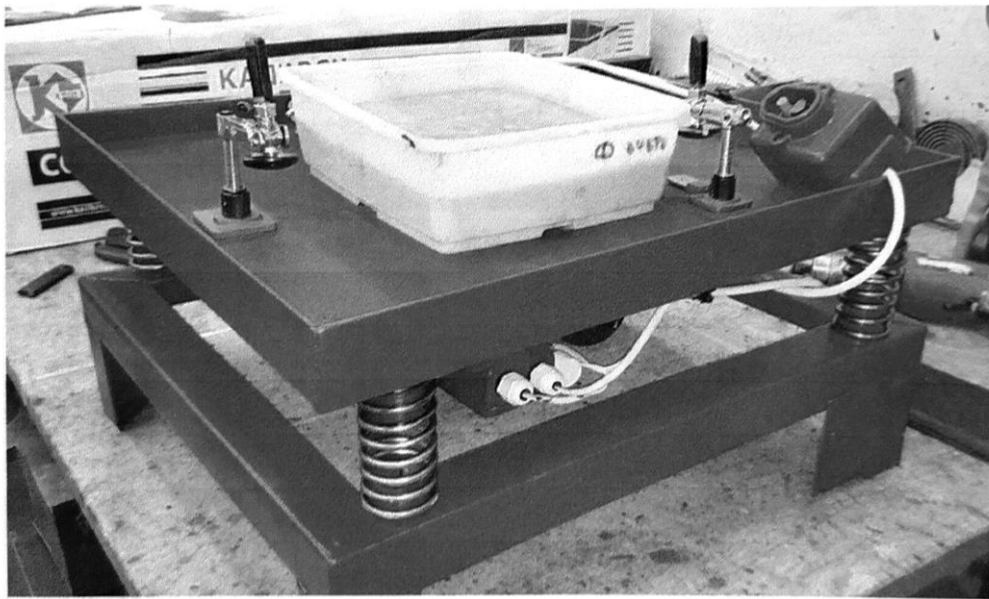


Рисунок 1.11 – Вібраційний стіл із ручними притискачами для фіксації форми

Перевагою механічного гвинтового притиску є простота, ремонтпридатність і можливість регулювання сили притискання. Недоліком

					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

— залежність результату від оператора, необхідність часу на налаштування, а також потенційна нерівномірність притискання, якщо прикладання зусилля здійснюється у двох точках замість симетричної схеми [18, 19, 34].

Окремим різновидом механічних рішень є центральні гвинтові притиски з траверсою, які формують притискання від однієї силової ланки та розподіляють його на кілька опорних точок через жорстку балку. Такий підхід дає змогу зменшити перекося та покращити повторюваність затиску, що важливо для отримання однорідних зразків у серіях лабораторних випробувань [4, 24]. На рисунку 1.12 – Вібраційний стіл із центральним гвинтовим притиском і траверсним розподілом зусилля наведено приклад компоновки, де вузол притискання інтегрований у верхню частину конструкції та працює за принципом «пресового» притиску.

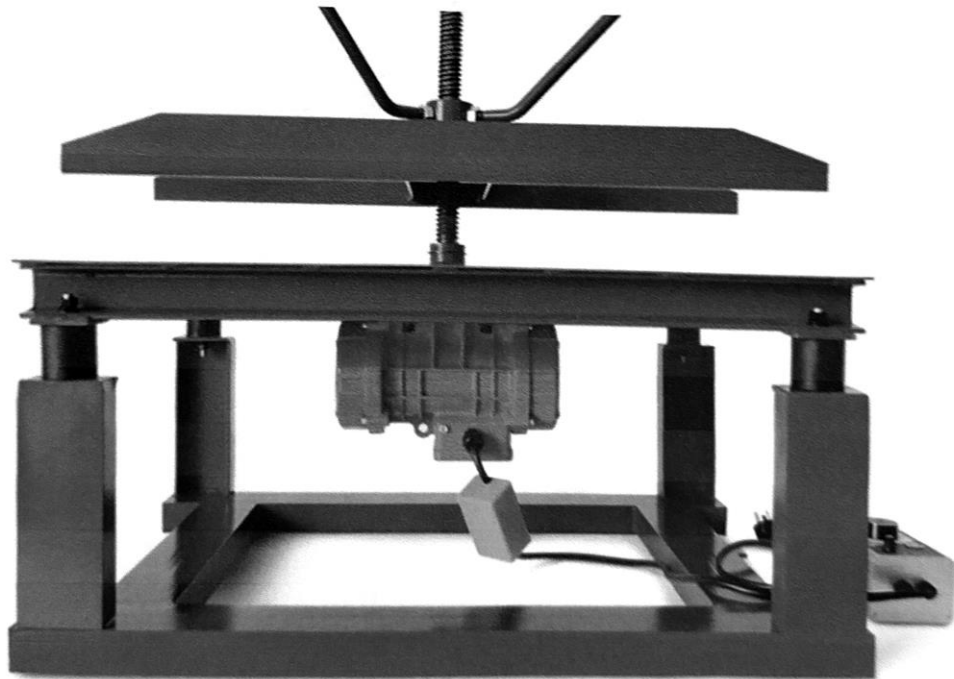


Рисунок 1.12 – Вібраційний стіл із центральним гвинтовим притиском і траверсним розподілом зусилля

Для виготовлення зразків у касетних формах або для одночасного ущільнення кількох форм поширені рамні притискні пристрої, де форма/форми фіксуються по периметру, а притиск може здійснюватися через притискні планки або комбіновані упорно-притискні елементи. На рисунку 1.13 – Вібраційний стіл з касетним розміщенням форм і периметральними елементами фіксації показано типове рішення, що обмежує поперечні зсуви та частково стабілізує контакт. Водночас рамні схеми часто ускладнюють швидку зміну формату виробів і потребують переналадження під інші габарити [24, 25].

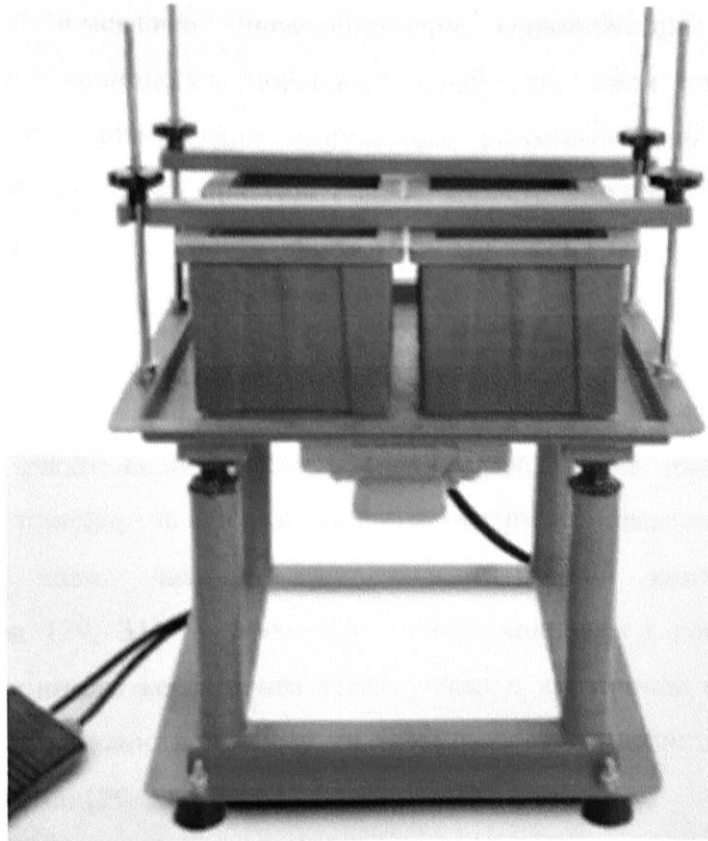


Рисунок 1.13 – Вібраційний стіл з касетним розміщенням форм і периметральними елементами фіксації

значними, використовуються комбіновані вузли кріплення: поєднання упорів із силовим притисканням, інколи з елементами демпфування або пружного підтиснення. Такий підхід дає змогу зменшити ударні взаємодії «форма–упор» та стабілізувати контакт при змінних режимах збудження [5, 6, 7]. Практика проектування вібраційних машин підкреслює, що підвищення надійності та ефективності часто досягається саме через раціональну схему силового замикання й симетризацію навантаження [7, 8, 18].

Перспективним напрямом є застосування пневматичних або гідравлічних притисків, де утримувальна сила створюється керованими виконавчими елементами (пневмоциліндри, гідроциліндри). Перевагами таких систем є швидкодія, можливість стабілізації сили притискання та інтеграції з автоматизованим керуванням режимами ущільнення [17]. Водночас у лабораторній практиці вони використовуються обмежено через ускладнення конструкції, необхідність енергоживлення та вимоги до безпеки (ризика витоку, необхідність контролю тиску).

Окрему групу становлять засоби підвищення тертя без жорсткого затиску: гумові/полімерні прокладки, рифлені накладки, антиковзні мати. Їх застосування інколи дає позитивний ефект при малих навантаженнях, однак у разі високих прискорень або забруднення поверхонь цементним молочком ефективність таких заходів знижується, а умови контакту стають нестабільними [29, 31]. З точки зору теорії коливальних і контактних «тіло–поверхня», змінність коефіцієнта тертя у часі є критичним фактором, що погіршує повторюваність процесу та ускладнює забезпечення стабільності положення форми [19, 34].

1.4 Висновки до розділу 1.

Виконано комплексний аналіз сучасних вібраційних столів і платформ, що застосовуються для ущільнення бетонних сумішей, а також умов взаємодії

					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		29

форм з робочою поверхнею в процесі вібраційного впливу. Показано, що ефективність ущільнення визначається не лише параметрами вібраційного режиму, а й стабільністю положення форми відносно вібраційної поверхні, яка в реальних умовах часто порушується під дією змінних інерційних навантажень.

Встановлено, що на форму під час ущільнення діє складна система сил, зокрема вертикальні та горизонтальні складові інерційних сил, величина яких залежить від масово-геометричних характеристик форми, властивостей бетонної суміші та просторового характеру коливань. За відсутності спеціалізованих вузлів кріплення стабільність положення форми зазвичай забезпечується лише силами тертя, які є змінними та недостатніми при інтенсивних або несиметричних режимах вібрації.

Огляд існуючих конструкцій вузлів кріплення форм показав, що найбільш поширеними є механічні притискні та упорно-напрямні рішення, які забезпечують часткове обмеження переміщень, однак не враховують зміну динамічних навантажень і реологічних властивостей бетонної суміші в процесі ущільнення. Керовані притискні системи застосовуються обмежено та характеризуються підвищеною конструктивною складністю.

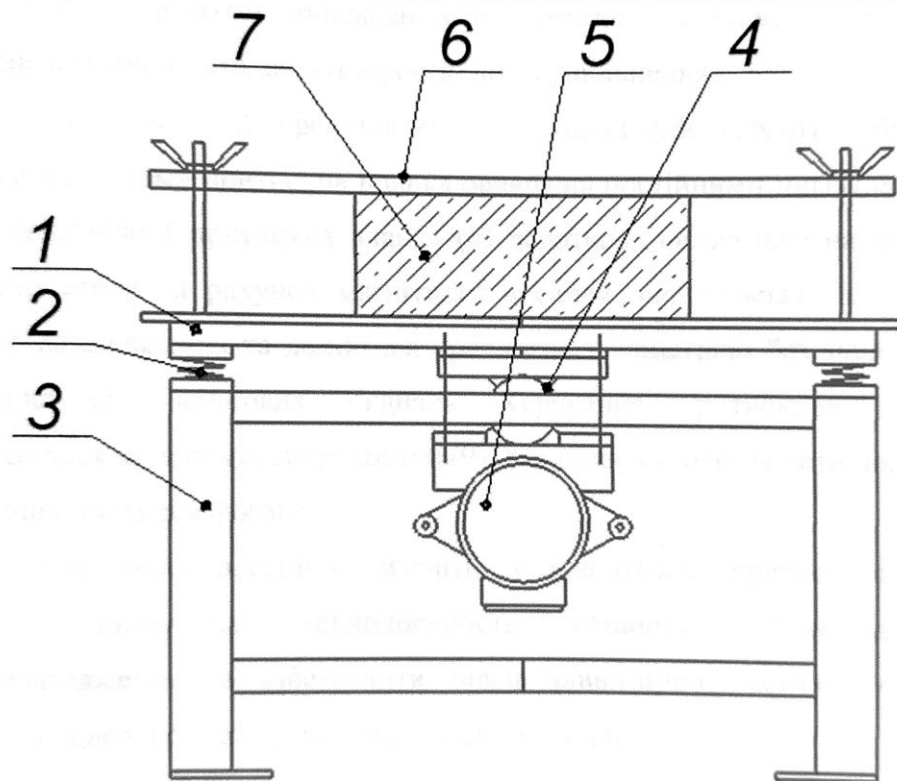
					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		30

Розділ 2: Конструктивно-технологічні особливості вібраційної установки з притискними пристроями

2.1 Опис вібраційної установки з притискною планкою та магнітною фіксацією форми

Для забезпечення стабільного положення форми під час вібраційного ущільнення бетонної суміші в роботі розглянуто конструкцію вібраційної установки з механічною та магнітною системами притиску.

На рисунку 2.1 зображено вібраційну установку з формою та притискною планкою механічного типу.



1 – стіл, 2 – пружинна опора, 3 – станина, 4 – шарнірне з'єднання,
5 – вібратор, 6 – притискна планка, 7 – форма з бетоном

Рисунок 2.1 – Вібраційна установка з формою та притискною планкою

ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Дейнека			19.01
Перев.	Коробко			19.01
Керівник				
Н. контр.	Васильєв			19.01
Затв.	Орисенко			19.01
Конструктивно-технологічні особливості вібраційної установки з притискними пристроями				
Літ.	Лист	Листів		
Н		31		
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

Основним елементом установки є вібраційний стіл (1), який встановлений на пружинних опорах (2) та закріплений на станині (3). Пружинні опори забезпечують пружну підвіску робочого столу та дозволяють реалізувати коливальний режим роботи установки.

Збудження коливань здійснюється за допомогою вібратора (5), встановленого під робочою поверхнею столу. Передача зусилля від притискної системи до форми відбувається через притискну планку (6), яка за допомогою шарнірного з'єднання (4) дозволяє компенсувати незначні перекося та нерівності форми. Форма з бетонною сумішшю (7) фіксується на поверхні столу шляхом прикладання притискного зусилля, що зменшує її відносне ковзання та підвищує ефективність ущільнення.

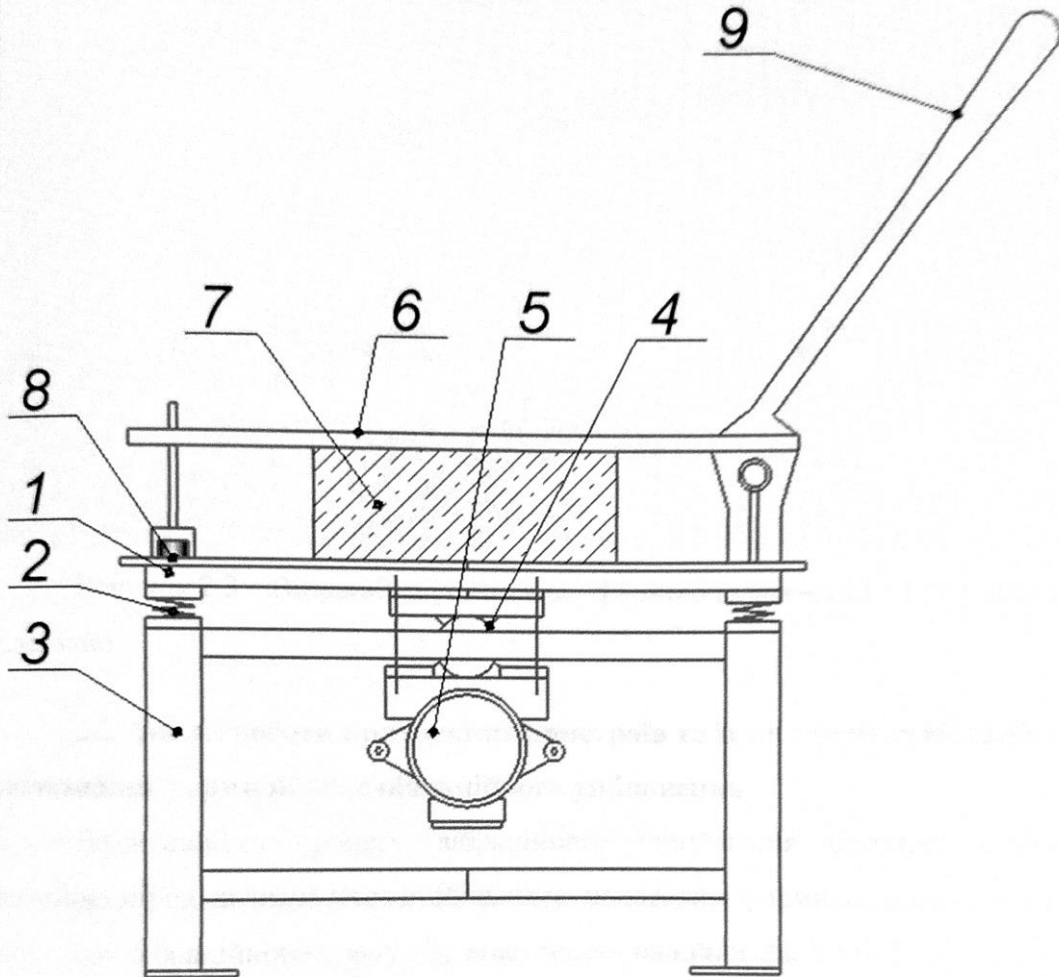
На рисунку 2.2 представлено вдосконалений варіант вібраційної установки, у якому притискна планка оснащена постійними магнітами (8). У даній конструкції притискна планка (6) додатково фіксується на металевій поверхні столу за рахунок магнітного зусилля, що дозволяє забезпечити швидке встановлення та демонтаж притискного пристрою без застосування різьбових або клинових з'єднань. Керування притискною планкою здійснюється за допомогою рукоятки (9), яка дозволяє регулювати положення та ступінь притиску форми.

Застосування постійних магнітів у конструкції притискної планки дозволяє підвищити технологічність установки, зменшити час переналагодження та забезпечити більш рівномірний контакт форми з робочою поверхнею столу під час вібраційного впливу.

На рисунку 2.3 наведено прототип вібраційної установки та магнітною притискною планкою, розроблений у межах даного дослідження. Запропонована конструкція демонструє можливість практичної реалізації магнітної системи притиску, яка поєднує простоту монтажу, надійність фіксації та адаптивність до форм різної геометрії. Розроблена притискна планка на постійних магнітах дозволяє здійснювати швидкий монтаж її на

					ГМіМ.601мММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		32

металевій частині столу, що особливо важливо в умовах серійного або дрібносерійного виробництва бетонних виробів.



1 – стіл, 2 – пружинна опора, 3 – станина, 4 – шарнірне з'єднання,
5 – вібратор, 6 – притискна планка, 7 – форма з бетоном, 8 – постійний магніт,
9 – рукоятка.

Рисунок 2.2 – Вібраційна установка з формою та притисною планкою з постійними магнітами

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

33

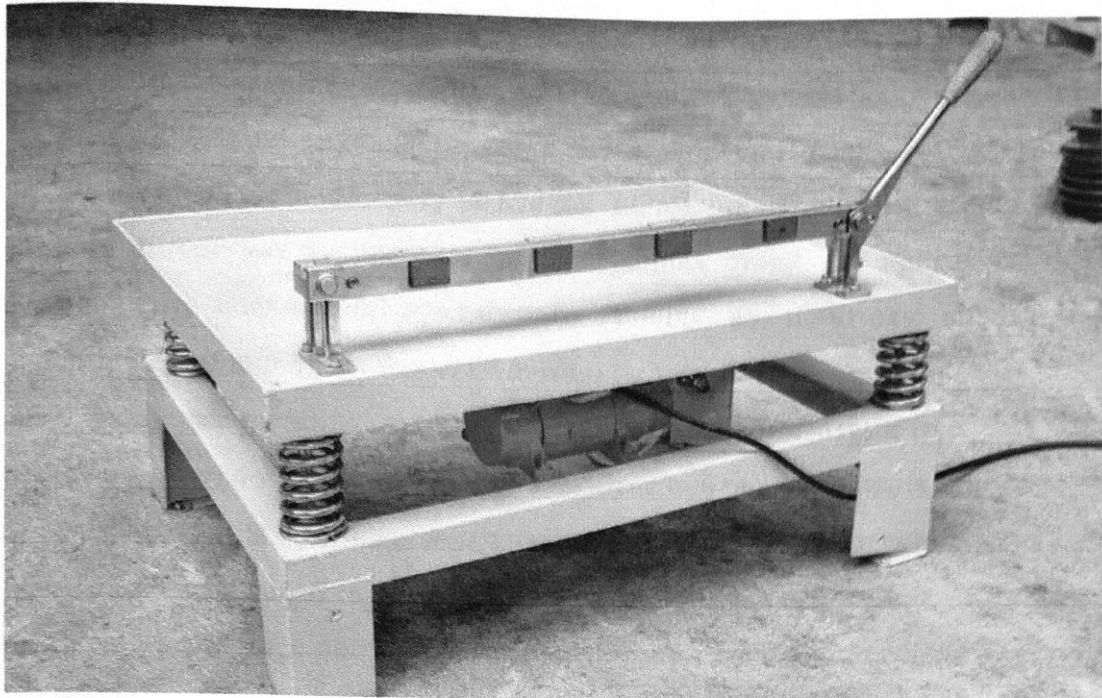


Рисунок 2.3 – Вібраційна установка з формою та магнітною притисковою планкою

2.2 Аналіз роботи притискних пристроїв та їх вплив на стабільність положення форми під час вібраційного ущільнення

Ефективність процесу вібраційного ущільнення бетонної суміші значною мірою визначається стабільністю положення форми відносно робочої поверхні вібраційного столу. За відсутності надійної фіксації форма зазнає відносних переміщень, що призводить до нерівномірного розподілу енергії коливань у бетонній суміші, локальних зон переущільнення або недоущільнення, а також до підвищеного зношування робочих поверхонь.

У випадку застосування механічної притискної планки (рисунок 2.1) фіксація форми забезпечується за рахунок зовнішнього притискного зусилля, яке передається через притискну планку на форму. Таке зусилля створює додаткову нормальну реакцію між формою та поверхнею столу, що збільшує силу тертя та зменшує ймовірність ковзання. Однак ефективність даного

способу значною мірою залежить від точності налаштування притиску, стану шарнірного з'єднання та геометричної відповідності форми робочій поверхні.

При вібраційному навантаженні механічна притискна система може втрачати стабільність контакту внаслідок динамічних коливань, зокрема при змінних амплітудах та просторових коливаннях столу. Це проявляється у періодичному послабленні притискного зусилля, що негативно впливає на рівномірність ущільнення бетонної суміші.

Застосування притискної планки з постійними магнітами (рисунк 2.2) дозволяє усунути зазначені недоліки. Магнітне притискне зусилля формується безпосередньо між притискною планкою та металевою поверхнею столу і має більш стабільний характер у порівнянні з механічними системами. За рахунок цього забезпечується постійний контакт форми з робочою поверхнею навіть за інтенсивних режимів вібрації.

Важливою особливістю магнітної притискної системи є можливість швидкого монтажу та демонтажу притискної планки без використання різьбових або клинових елементів. Це істотно зменшує допоміжний час на переналагодження обладнання та підвищує загальну продуктивність технологічного процесу. Крім того, магнітний притиск забезпечує більш рівномірний розподіл притискного зусилля вздовж довжини форми, що сприяє стабілізації умов ущільнення.

Прототип магнітної притискної планки та вібраційної установки, зображений на рисунку 2.3, підтверджує можливість практичної реалізації запропонованого конструктивного рішення. У ході експлуатації така система забезпечує зменшення відносних горизонтальних переміщень форми, стабілізацію контактної взаємодії та підвищення однорідності структури ущільненої бетонної суміші.

2.2.1 Сили, що діють на форму під час вібраційного ущільнення

Під час роботи вібраційної установки на форму з бетонною сумішшю діє система сил, що включає силу тяжіння, інерційні сили, нормальну реакцію опори, сили тертя та, у разі застосування притискних пристроїв, додаткову силу притиску.

Сила тяжіння форми з бетонною сумішшю визначається як

$$G = mg \quad (2.1)$$

Де m — маса форми з бетонною сумішшю, кг;

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

При коливальному русі столу з гармонічним законом переміщення

$z(t) = A \sin(\omega t)$ інерційна сила, що діє на форму у вертикальному напрямку, дорівнює

$$F_1(t) = m\ddot{z}(t) = -mA\omega^2 \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

Де A — амплітуда коливань, м;

$\omega = 2\pi f$ — кутова частота, рад/с;

f — частота коливань, Гц.

2.2.2 Умови ковзання форми без притискання

У випадку відсутності притискної планки нормальна реакція опори визначається як

$$N_0(t) = G - F_1(t) \quad (2.3)$$

Максимальна сила тертя між формою та поверхнею столу:

$$F_{\text{тер},0}(t) = \mu N_0(t) \quad (2.4)$$

Де μ — коефіцієнт тертя між матеріалом форми та поверхнею столу.

Умова виникнення ковзання форми має вигляд:

$$F_{x,i}(t) > F_{\text{тер},0}(t), \quad (2.5)$$

Де $F_{x,i}(t)$ — горизонтальна складова інерційної сили, що виникає внаслідок просторових коливань або асиметричного збудження.

У цьому режимі контакт між формою та столом є нестабільним, що призводить до:

- локальних переміщень форми;
- нерівномірного ущільнення суміші;
- втрат енергії коливань на тертя ковзання.

2.2.3 Умови роботи з притисною планкою

Механічний притиск

За наявності механічної притисної планки нормальна реакція збільшується:

$$N_1(t) = G + F_{\text{пр}} - F_i(t), \quad (2.6)$$

Де $F_{\text{пр}}$ — сила притиску, створена притисною планкою.

Відповідно сила тертя:

$$F_{\text{тер},1}(t) = \mu N_1(t). \quad (2.7)$$

Збільшення N_1 призводить до зростання граничної сили тертя та зменшення ймовірності ковзання.

Магнітний притиск

Для притисної планки з постійними магнітами сила притиску визначається як

$$F_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{маг},i} \quad (2.8)$$

Де $F_{\text{маг},i}$ — притискна сила одного магніта;

n — кількість магнітів.

Тоді повна нормальна реакція:

$$N_2(t) = G + \sum_{i=1}^n F_{\text{маг},i} - F_i(t) \quad (2.9)$$

Магнітний притиск характеризується практично сталою величиною $F_{\text{пр}}$, що забезпечує стабільні умови ущільнення навіть при змінних режимах вібрації.

2.2.4 Коливальний ефект ущільнення бетонної суміші

Ефективність вібраційного ущільнення визначається безрозмірним параметром віброприскорення:

$$\Gamma = \frac{A\omega^2}{g} \quad (2.10)$$

при $\Gamma < 1$ — ущільнення недостатнє;

при $1 \leq \Gamma \leq 3$ — оптимальний режим ущільнення;

при $\Gamma > 3$ — можливе розшарування суміші.

За відсутності притискання ефективне прискорення зменшується через втрати на ковзання:

$$\Gamma_{\text{еф}} < \Gamma \quad (2.11)$$

При застосуванні притискної планки:

$$\Gamma_{\text{еф}} \approx \Gamma \quad (2.12)$$

оскільки коливальна енергія ефективніше передається бетонній суміші.

2.2.5 Розрахунок пружних опор вібраційної установки

Рухома рама (стіл) масою M встановлена на n пружних опорах жорсткістю k .

Сумарна жорсткість системи:

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		38

$$K_{\Sigma} = nk$$

Власна кругова частота коливань:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{\Sigma}}{M}} \quad (2.13)$$

Власна частота:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{nk}{M}} \quad (2.14)$$

Для ефективного вібраційного режиму необхідно:

$$f = (1,2 \dots 1,5) f_0 \quad (2.15)$$

що забезпечує роботу в зоні резонансного підсилення без втрати стійкості.

Жорсткість однієї пружини:

$$k = \frac{M(2\pi f_0)^2}{n} \quad (2.16)$$

Статичне прогинання пружин:

$$\delta = \frac{Mg}{K_{\Sigma}} \quad (2.17)$$

Рекомендована умова: $\delta = (2 \dots 6) \text{ мм}$, що забезпечує достатню гнучкість системи та стабільність коливань.

2.2.6 Числовий приклад розрахунку параметрів вібраційного ущільнення

Вихідні дані установки (для лабораторної віброплощадки СМЖ-539-220А)

Вихідні параметри віброплощадки СМЖ-539-220А наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики віброплощини СМЖ-539-220А

Параметр	Позначення	Значення
Вантажопідйомність	$m_{см}$	до 100 кг
Маса установки	$m_{уст}$	80 кг
Частота коливань	f	2900 кол/хв 48 Гц
Кутова частота	ω	303,6 рад/с
Амплітуда коливань	A	0,15–1,0 мм
Тип коливань	–	ненаправлені
Тип кріплення форм	–	механічна притискна планка

Прийняті розрахункові припущення

Для розрахунку приймаємо:

маса форми з бетонною сумішшю $m=80$ кг

коефіцієнт тертя «форма–стіл» (сталь–полімер / сталь) $\mu=0,35$

кількість пружних опор $n=4$

2.2.7 Розрахунок віброприскорення (ущільнювального ефекту)

Віброприскорення визначається за формулою (2.10)

Розрахунок для мінімальної амплітуди $A=0,15$ мм, $A = 0,00015$ м

$$\Gamma_{\min} = \frac{0,00015 \cdot (303,6)^2}{9,81} \approx 1,41 \quad (2.18)$$

Розрахунок для максимальної амплітуди $A=1,0$ мм, $A = 0,001$ м

$$\Gamma_{\max} = \frac{0,001 \cdot (303,6)^2}{9,81} \approx 9,41 \quad (2.19)$$

Висновок стосовно амплітуди коливання:

при $A=0,15$ мм → режим ефективного ущільнення;

при $A=1,0$ мм → можливе розшарування суміші, особливо без притиску.

Таблиця 2.2 – Значення віброприскорення

Амплітуда, мм	Віброприскорення Г	Характер режиму
0,15	1,41	оптимальне ущільнення
0,30	2,82	інтенсивне ущільнення
0,50	4,70	межа стабільності
1,00	9,41	ризик розшарування

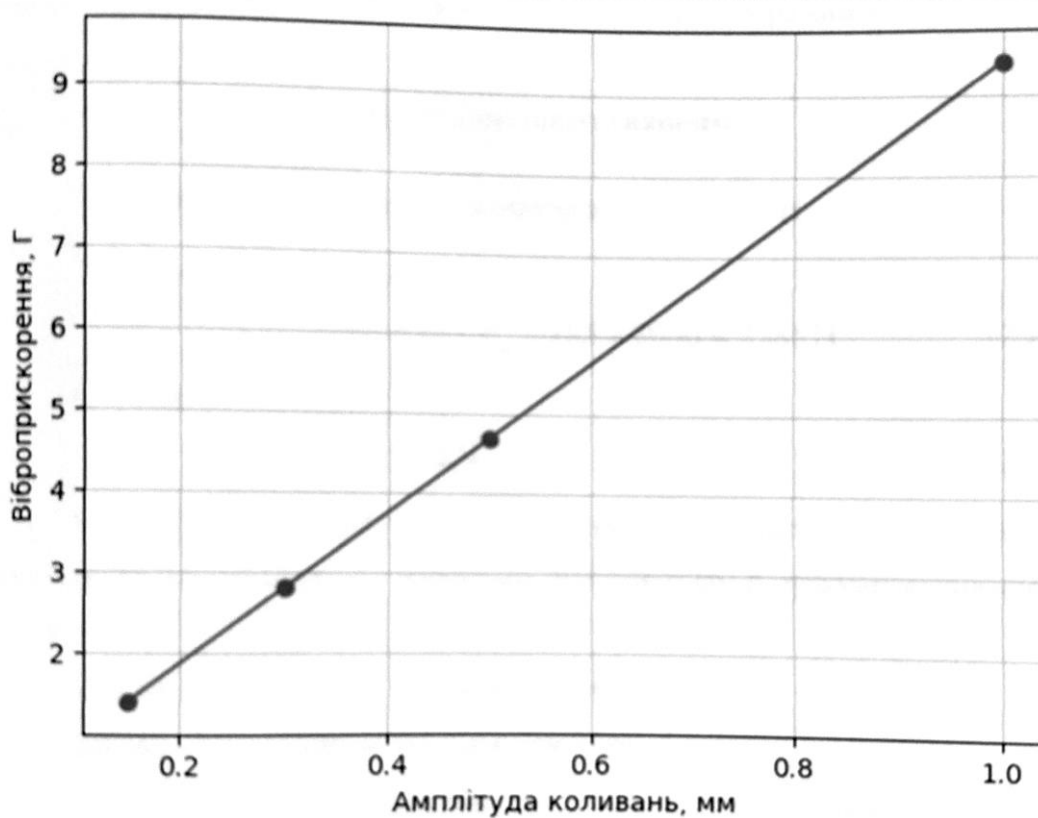


Рисунок 2.4 – Залежність віброприскорення від амплітуди коливань

2.2.8 Розрахунок сил тертя без притискання

Сила тяжіння:

$$G = mg = 80 \cdot 9,81 = 785 \text{ Н} \quad (2.20)$$

Максимальна сила тертя:

$$F_{\text{тер},0} = \mu G = 0,35 \cdot 785 \approx 275 \text{ Н} \quad (2.21)$$

Максимальна інерційна сила:

$$F_i = mA\omega^2 \quad (2.22)$$

Для $A=0,5$ мм:

$$F_i = 80 \cdot 0,0005 \cdot (303,6)^2 \approx 3690 \text{ Н} \quad (2.23)$$

$$F_i \gg F_{\text{тер},0}$$

Без притискання форма гарантовано переходить у режим ковзання.

2.2.9 Розрахунок з механічним притисканням

Приймаємо силу механічного притиску: $F_{\text{пр}} = 2000$ Н

Тоді нормальна реакція:

$$N_1 = G + F_{\text{пр}} = 785 + 2000 = 2785 \text{ Н} \quad (2.24)$$

Сила тертя:

$$F_{\text{тер},1} = \mu N_1 = 0,35 \cdot 2785 \approx 975 \text{ Н} \quad (2.25)$$

Ковзання зменшується, але повністю не усувається при великих амплітудах для затискачів з магнітним притисканням розрахункові значення аналогічні.

Порівняння притисків наведено в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Порівняння умов ковзання

Режим	Нормальна сила, Н	Сила тертя, Н	Ймовірність ковзання
Без притиску	785	275	дуже висока
Механічний притиск / Магнітний притиск	2785	975	мінімальна

Розділ 3 Експериментальні дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші

3.1 Опис експериментальної установки та методики проведення досліджень

Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки теоретичних положень, наведених у попередніх розділах, та кількісної оцінки впливу різних способів фіксації форми на ефективність вібраційного ущільнення бетонної суміші. Основна увага приділялася аналізу стабільності положення форми, рівномірності ущільнення суміші та зменшенню втрат енергії коливаль.

Для проведення експериментів використовувалася лабораторна віброплощадка СМЖ-539-220А з механічним кріпленням форм, технічні характеристики якої наведені в розділі 2. Вібраційна установка забезпечує ненаправлені коливання з частотою до 2900 кол/хв та регульованою амплітудою в діапазоні 0,15–1,0 мм, що дозволяє моделювати різні режими ущільнення бетонних сумішей.

Експериментальна установка складалася з вібраційного столу, встановленого на пружних опорах, станини, вібратора типу ІВ-99Е, системи механічного притискання та змінної притискної планки з постійними магнітами. Для керування режимами роботи використовувався виносний пульт управління з цифровим таймером, що дозволяло точно задавати тривалість вібраційного впливу.

У ході досліджень використовувалися стандартні металеві та полімерні форми для виготовлення бетонних зразків, заповнені бетонною сумішшю однакового складу та рухливості.

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Експериментальні дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Дейнека			19.01		Н		45
Перев.	Коробко			15.01				
Керівник								
Н. контр.	Васильєв			19.01		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.	Орисенко			19.01				

Висновки до розділу 2.

Розроблено та проаналізовано конструктивні рішення вібраційної установки з притискними пристроями для фіксації форми під час вібраційного ущільнення бетонної суміші. Розглянуто варіанти механічного та магнітного притиску, визначено їх принцип дії та особливості взаємодії з формою в умовах коливального навантаження. Показано, що застосування притискних планок дозволяє суттєво підвищити стабільність положення форми та зменшити втрати енергії на ковзання. Запропонована магнітна притискна система відрізняється підвищеною технологічністю, швидкістю монтажу та стабільністю притискного зусилля.

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		43

Розділ 3 Експериментальні дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші

3.1 Опис експериментальної установки та методики проведення досліджень

Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки теоретичних положень, наведених у попередніх розділах, та кількісної оцінки впливу різних способів фіксації форми на ефективність вібраційного ущільнення бетонної суміші. Основна увага приділялася аналізу стабільності положення форми, рівномірності ущільнення суміші та зменшенню втрат енергії коливаль.

Для проведення експериментів використовувалася лабораторна віброплощадка СМЖ-539-220А з механічним кріпленням форм, технічні характеристики якої наведені в розділі 2. Вібраційна установка забезпечує ненаправлені коливання з частотою до 2900 кол/хв та регульованою амплітудою в діапазоні 0,15–1,0 мм, що дозволяє моделювати різні режими ущільнення бетонних сумішей.

Експериментальна установка складалася з вібраційного столу, встановленого на пружних опорах, станини, вібратора типу ІВ-99Е, системи механічного притискання та змінної притискної планки з постійними магнітами. Для керування режимами роботи використовувався виносний пульт управління з цифровим таймером, що дозволяло точно задавати тривалість вібраційного впливу.

У ході досліджень використовувалися стандартні металеві та полімерні форми для виготовлення бетонних зразків, заповнені бетонною сумішшю однакового складу та рухливості.

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Експериментальні дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Дейнека			19.01		Н		
Перев.	Коробко			15.01			45	
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			19.01				
Зате.	Орисенко			19.01				

3.2.2 Оцінка рівномірності ущільнення

Для кількісної оцінки рівномірності ущільнення використано коефіцієнт нерівномірності:

$$k_n = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{\rho_{\text{ср}}} \quad (3.1)$$

Де ρ_{\max} , ρ_{\min} — максимальне та мінімальне значення щільності;
 $\rho_{\text{ср}}$ — середня щільність зразка.

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт нерівномірності ущільнення

Режим ущільнення	Середня щільність зразка. $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Коефіцієнт нерівномірності, k
Без притискання	2127	0,103
Механічний притиск	2307	0,022
Магнітний притиск	2315	0,022

Під час експериментів фіксувалися відносні горизонтальні переміщення форми по поверхні столу.

Таблиця 3.3 – Величина відносного переміщення форми

Режим ущільнення	Середнє переміщення, мм
Без притискання	3,5–5,0
Механічний притиск	0,2–0,4
Магнітний притиск	0,2–0,4

3.2 Аналіз результатів експериментальних досліджень та оцінка рівномірності ущільнення бетонної суміші

Експериментальні дослідження були спрямовані на кількісну оцінку впливу способу фіксації форми на рівномірність ущільнення бетонної суміші під час вібраційного впливу. Дослідження проводилися для форми з бетонною сумішшю загальною масою 10 кг, що дозволило чітко зафіксувати ефект ковзання та нестабільного контакту з робочою поверхнею вібраційного столу.

Для аналізу було прийнято три режими ущільнення:

- без притискання форми;
- з механічною притискною планкою;
- з магнітною притискною планкою.

3.2.1 Результати експериментів з оцінки рівномірності ущільнення

Оцінка рівномірності ущільнення проводилася за непрямыми показниками, а саме:

- візуальною однорідністю структури бетонної суміші;
- щільністю зразків у верхній, середній та нижній частинах;
- наявністю пор та розшарування після розпалублення.

Для кожного режиму виготовлялося по три контрольні зразки, після чого визначалась середня щільність.

Таблиця 3.1 – Результати визначення щільності бетонної суміші

Режим ущільнення	Щільність у верхній зоні, кг/м ³
Без притискання	2120
Механічний притиск	2240

Висновки до розділу 3.

Виконано експериментальне дослідження впливу притискних пристроїв на процес вібраційного ущільнення бетонної суміші. Отримано кількісні залежності між амплітудою коливань, віброприскоренням та характером ущільнення, що дозволило виділити оптимальні та граничні режими роботи вібраційної установки. Встановлено, що використання притискних пристроїв забезпечує більш рівномірний розподіл ущільнення по об'єму форми та знижує ризик розшарування суміші. Експериментальні результати підтверджують доцільність застосування притиску для стабілізації динамічного режиму ущільнення.

						ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			49

Розділ 4 Впровадження, експлуатація та оцінка ефективності модернізованої системи вібраційного ущільнення

4.1 Практичне впровадження модернізованої вібраційної установки

Розроблені у межах даної роботи конструктивні рішення щодо застосування магнітної притискної планки можуть бути безпосередньо впроваджені в існуючі лабораторні та виробничі вібраційні установки без суттєвої зміни їх базової конструкції. Практичне впровадження запропонованої системи було орієнтоване на лабораторну віброплощадку типу СМЖ-539-220А, що широко використовується для виготовлення контрольних бетонних зразків та визначення показників жорсткості бетонних сумішей.

Модернізація установки полягає в оснащенні її притискною планкою з постійними магнітами, яка монтується безпосередньо на металевій поверхні вібраційного столу. Завдяки магнітному притиску забезпечується надійна фіксація форми з бетонною сумішшю без застосування різьбових або клинових з'єднань. Такий підхід дозволяє значно скоротити час підготовки установки до роботи та підвищити технологічну гнучкість при зміні типорозмірів форм.

Запропонована конструкція притискної планки не потребує втручання в електричну або силову частину установки, що робить можливим її впровадження як у нове обладнання, так і в установки, що вже перебувають в експлуатації. Практичні випробування підтвердили сумісність магнітної системи притиску з різними режимами вібраційного впливу та відсутність негативного впливу на роботу вібратора і пружних опор.

				ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Дейнека		19.01	Н	51	
Перев.		Коробко		19.01			
Керівник							
Н. контр.		Васильєв		19.01			
Зам.		Орисенко		19.01			
<i>Впровадження, експлуатація та оцінка ефективності модернізованої системи</i>					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

4.3 Техніко-економічна оцінка ефективності запропонованої конструкції

Техніко-економічна оцінка ефективності модернізованої системи вібраційного ущільнення проводилася з урахуванням результатів експериментальних досліджень, наведених у розділі 3, а також аналізу витрат на виготовлення та впровадження магнітної притискної планки.

З технічної точки зору застосування магнітного притиску дозволяє:
зменшити відносні переміщення форми по поверхні столу у 3–5 разів;
підвищити рівномірність ущільнення бетонної суміші, що підтверджується зменшенням коефіцієнта нерівномірності;
забезпечити стабільність процесу ущільнення для форм малої маси, що є критичним для лабораторних досліджень.

Економічна ефективність модернізації обумовлена низькою собівартістю притискної планки з постійними магнітами та відсутністю необхідності у заміні основних вузлів установки. Витрати на виготовлення та встановлення магнітної притискної системи є незначними у порівнянні з вартістю нової вібраційної установки, а строк її окупності досягається за рахунок скорочення часу переналагодження, зменшення браку та підвищення якості готових зразків.

Крім того, підвищення повторюваності результатів експериментів знижує витрати на проведення додаткових випробувань та сприяє підвищенню достовірності лабораторних досліджень. Сукупність зазначених факторів дозволяє зробити висновок про доцільність впровадження запропонованої конструкції як з технічної, так і з економічної точки зору.

Висновки до розділу 4.

Розглянуто питання практичного впровадження, експлуатації та оцінки

					ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		53

Таким чином, запропонована модернізація є технологічно простою, універсальною та придатною для впровадження в умовах навчальних лабораторій, дослідних підрозділів і малосерійного виробництва бетонних виробів.

4.2 Експлуатаційні аспекти та вимоги до використання

Експлуатація модернізованої вібраційної установки з магнітною притисковою планкою не потребує спеціальної підготовки обслуговуючого персоналу та здійснюється відповідно до загальних вимог безпеки при роботі з вібраційним обладнанням. Перед початком роботи необхідно перевірити стан магнітних елементів, чистоту контактних поверхонь столу та притискової планки, а також надійність фіксації форми.

Важливою експлуатаційною вимогою є забезпечення металевого контакту між магнітами та поверхнею столу, оскільки наявність шару бетонного розчину, пилу або корозії може призвести до зменшення притискового зусилля. У процесі роботи рекомендується періодично очищати робочу поверхню столу та притискову планку.

Застосування магнітного притиску дозволяє зменшити ударні навантаження та нерівномірні переміщення форми, що позитивно впливає на довговічність елементів установки та знижує рівень шуму й вібрацій, що передаються на станину. Крім того, зменшення ковзання форми підвищує безпеку роботи оператора та знижує ймовірність аварійних ситуацій.

Експлуатація установки допускається у межах регламентованих значень амплітуди та частоти коливань, визначених технічною документацією на віброплощадку. При дотриманні зазначених умов модернізована система забезпечує стабільну роботу та високу повторюваність результатів ущільнення бетонної суміші.

					ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		52

ефективності модернізованої вібраційної установки з притискними пристроями. Показано, що запропонована конструкція може бути реалізована на базі існуючих лабораторних і виробничих вібраційних столів без суттєвих конструктивних змін. Проаналізовано експлуатаційні вимоги та заходи безпеки, що забезпечують надійну та довготривалу роботу обладнання. Техніко-економічна оцінка підтвердила ефективність запропонованого рішення за рахунок підвищення якості виробів і зменшення втрат від браку.

Зм.	Лист	№ док.м.	Підп.	Дата

ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист
54

Висновки





У роботі встановлено, що нестабільний контакт форми з робочою поверхнею вібраційного столу є однією з основних причин нерівномірного ущільнення бетонної суміші та зниження якості готових виробів.

Розроблено та обґрунтовано конструкцію вібраційної установки з механічною та магнітною притискними планками, які забезпечують надійну фіксацію форми в умовах інтенсивного вібраційного навантаження.

Отримано аналітичні залежності для визначення сил тертя, притиску та віброприскорення, що дозволяють оцінювати умови ковзання і ефективність ущільнення бетонної суміші.

Експериментально підтверджено, що застосування притискних пристроїв підвищує рівномірність ущільнення та стабільність вібраційного режиму, особливо при роботі в зоні оптимальних віброприскорень.

Запропоновані конструктивні рішення мають практичну цінність і можуть бути використані при модернізації вібраційних столів та платформ для лабораторного й дрібносерійного виробництва бетонних виробів.

ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.		Дейнека		19.01
Перев.		Коробко		19.01
Керівн.				
Н. контр.		Васильєв		19.01
Затв.		Орисенко		19.01
Висновки				
			Лім.	Лист
			Н	Листів
Национальний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

7. Nazarenko I., Slipetskyi V. Analysis and synthesis of creation of vibration machines with an estimation of their efficiency and reliability // Technology audit and production reserves. – 2019. – Vol. 6, No. 1 (50). – P. 29–31. – <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.189057>.
8. Nazarenko I., Slipetskyi V. Development of the organizational principles of formation of the optimal diagram and parameters of vibration system // Technology audit and production reserves. – 2019. – Vol. 5, No. 1 (49). – P. 29–31. – <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.183874>.
9. Nazarenko I.I. The Dynamic Processes Mathematical Modeling in the Traction Coupling Device From Cars to the Trailers / I.I. Nazarenko, M.M. Nesterenko, O.V. Orysenko, A.Yu. Zygun // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 4.8. – P. 284–288. – DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27257.
10. Nazarenko I.I., Ruchynskyy M.M., Terenchuk S.A. Doslidzhennya rezhymnykh ta enerhetychnykh kharakterystyk prohresyvnykh vibromashyn // Вісник НТУУ «КПІ». – 2011. – Вип. 63. – С. 214–218. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2305-9001.2011.63.58587>.
11. Nesterenko M.M. Theoretical studies of stresses in a layer of a light-concrete mixture, which is compacted on the shock-vibration machine / M.M. Nesterenko, T.M. Nesterenko, T.O. Skliarenko // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 3.2. – P. 419–424.
12. Nesterenko M. M., Vedmid V. V. Movement of air voids in lightweight concrete mixtures during vibration compaction. System technologies. – 2025. – Т. 3, № 158. – С. 201–208. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-3-158-2025-20>
13. Nesterenko M.P. Investigation of vibration machine interaction with compacted concrete mixture / M.P. Nesterenko, A.G. Maslov, Ju.S. Salenko // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 3.2. – P. 260–264.

ГМіМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ					Лист
					57
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

Список літератури

1. Maslov A.G. Deep compactor with a concrete mixture laid in a form interaction process investigation / A.G. Maslov, Ja. Batsaikhan, M.M. Nesterenko, T.M. Nesterenko // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 4.8. – P. 385–389. – DOI: 10.14419 / ijet.v7i4.8.27275.
2. Maslov A.G., Salenko J.S., Maslova N.A. Study of interaction of vibrating plate with concrete mixture // Вісник КНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 2 (67). – С. 93–98.
3. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Bondarenko A., Onyshchenko A., Lisnevskiy R., Slyusar V. Determining the influence of higher harmonics of nonlinear technological load in dynamic action systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Vol. 4, No. 7 (124). P. 79–88. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285419>
4. Nazarenko I., Ruchynskiy M., Delembovskiy M. The basic parameters of vibration settings for sealing horizontal surfaces // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, No. 3.2 (Spec. iss. 2). – P. 255–259. – <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14415>.
5. Nazarenko I.I., Dedov O.P., Svidersky A.T., Ruchinsky N.N. Research of energy-saving vibration machines with account of the stress-strain state of technological environment // The IX International Conference HEAVY MACHINERY HM 2017, Zlatibor, Serbia. – 2017. – P. 14–15.
6. Nazarenko I. Structural analysis of vibration platform for panel units forming and consideration of its utilizing options / Ivan Nazarenko, Oleksandr Diachenko, Vasyl Pryhotskiy, Mykola Nesterenko // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2021. – Вип. 1 (56). – С. 37–42. – DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2505>.

ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
	Розроб.	Дейнека		1901
	Перев.	Коробко		1901
	Керієн.			
	Н. контр.	Васильєв		19.01
	Затв.	Орисенко		19.01
Список літератури				
			Літ.	Лист
			Н	Листів
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

14. Nesterenko M. M., Vedmid V. V. Дослідження впливу вертикальних вібраційних режимів на взаємодію робочого органу віброплощадки з бетонною сумішшю. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2025. No. 2. P. 182-188. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.2.23> (Розробив математичну модель та провів експеримент).
15. Neville A.M. Właściwości betonu. – Kraków : Polski Cement, 2000. – 874 s.
16. Nguyen H., Tran V. Rheological properties of concrete under vibration. Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 15, No. 4. P. 30–40.
17. Nguyen T., Patel V. Smart Vibration Control Systems in Modern Construction. Automation in Construction. 2022. Vol. 144. P. 104–112.
18. Rivin E.I. Passive vibration isolation / E.I. Rivin. – New York : ASME Press, 2003. – 426 p.
19. Азаренков М.О., Гірка В.О., В.І. Лапшин В.І., В.І. Муратов В.І. Теорія коливань та хвиль. Навчальний посібник. – Харків, 2005. – 154 с.
20. Баранов Ю.О., Клименко М.О., Басараб В.А. Методика експериментальних досліджень взаємодії середовища з робочим органом ударно-вібраційної площадки // Техніка будівництва. – 2003. – №11. – С. 24-28.
21. Бікс Ю.С., Ратушняк Г.С., Коц І.В. Моделювання взаємодії бетонної суміші з прес-формою під час ущільнення // Сучасні технології, матеріали та конструкції у будівництві. – 2011. – № 2. – С. 92–95.
22. Боровець В. М., Шенбор В. С., Беспалов А. С. Визначення кінетичних параметрів елементів вібраційної машини з обертовим пристроєм. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2009. – Вип. 43. – С. 3–7.
23. Боровець В.М., Савчин Б.М., Шенбор В.С., Брусенцов В.Г. Вібраційні майданчики для виготовлення бетонних виробів // Спецпроект: анализ научных исследований : веб-сайт. – 2014. – URL: https://www.confcontact.com/2014-specproekt/tn3_borovets.htm (дата звернення: 17.03.2025).

24. Василенко Р.О. Вібромайданчики для формування великорозмірних об'ємних залізобетонних виробів / Р.О. Василенко, М.П. Нестеренко // 36. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2003. – Вип. 13. – С. 182–188.
25. Визначення раціональних режимів і параметрів віброустановки з складним характером руху / І.І. Назаренко та ін. // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : матеріали XXIV Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 27–30 трав. 2019 р.). – Київ : НТУ «КП», 2019. – С. 192–194.
26. Гриценко І.О. Математичне моделювання процесів ущільнення бетонних сумішей. Харків: ХНУБА, 2019. 178 с.
27. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. Вібраційна технологія бетону. – Київ : Будівельник, 1991. – 230 с.
28. Давиденко Ю.О. Розробка та дослідження керованої віброплощадки для ущільнення легких бетонів : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.02 / Давиденко Юрій Олександрович. – Полтава, 1999. – 181 с.
29. Демченко С.В. Вплив параметрів вібрації на міцність бетону. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2022. № 55. С. 89–94.
30. Дєдов О.П. Моделювання та визначення раціональних параметрів робочого процесу формують поверхні віброустановки із просторовими коливаннями // Прогресивні технології у машинобудуванні : тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. – 2019. – С. 127.
31. Дєдов О.П. Розповсюдження плоских хвиль напруження в пружно-пластичному середовищі під дією силового навантаження // Техніка будівництва. – 2010. – № 25. – С. 6–73.
32. Дідковський В.С., Дрозденко К.С. Основи аналітичної механіки та теорії коливань: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 250.
33. Маслов О.Г. Дослідження вібраційного органу для ущільнення бетонних сумішей з віброімпульсними коливаннями / О. Г. Маслов, Ю. С. Саленко, І. І.

					Лист
ГМІМ.601МММ.004-00.00.000 ПЗ					59
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	