

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА
Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему «Обладнання формування дрібноштучних бетонних виробів
методом вібраційного формування»

Виконав: здобувач вищої освіти
3 курсу, групи ГМ 2022-1
напряму підготовки (спеціальності)
133 «Галузеве машинобудування»

Коптєв Владислав Григорович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Олег Кулаєнко
(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)



Рецензент к.т.н. доц. Пімонов І.Г.
(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Харків – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури**

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Галузі знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

_____ **БАРАНОВ О.О.**

“18” червня 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Коптєв Владислав Григорович

1. Тема роботи **«Обладнання формування дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного формування»**

затверджені наказом університету від «22» травня 2026 року № 440-03

Керівник роботи к. т. н., доцент Блажко Володимир Володимирович

2. Строк подання роботи здобувачем вищої освіти «20» червня 2026 р.

3. Вихідні дані: кількість плиток за один цикл: 4 шт; розмір плитки: 250×250×40 мм ; площа однієї плитки: 0,0625 м²; площа виробів за цикл $S_{ц} = 4 \times 0,0625 = 0,25 \text{ м}^2$; тривалість циклу: $T_{ц} = 25 \text{ с}$; продуктивність - $q = 3600 \times 0,25 / 25 = 36 \text{ м}^2/\text{год}$; статичне зусилля пресування 17500 Н ; потужність вібропривода орієнтовно 4,0 – 5,5 кВт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз обладнання для виробництва дрібноштучних бетонних виробів. Розрахунок параметрів формуючого обладнання. Аналіз технології формування виробів. Питання експлуатації та безпеки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний вигляд преса (А-1); Збиральне креслення приводу преса (А-1)
Матриця (А-3); Кришка (А-3), Вал (А-3); Зубчасте колесо(А3); Технологічна
схема виробництва (А-1).

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Керівник КРБ		
Основна частина	Керівник КРБ		
Спеціальна частина	Керівник КРБ		
Охорона праці	Рогозін Анатолій Сергійович (кафедра ОПтаБЖ)		

7. Дата видачі завдання



«25» травня 2026 р.

Керівник



Олег КУЛАЄНКО

Завдання прийняв до виконання

Коптєв Владислав Григорович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Розробка 1го розділу випускної роботи	25.05- 30.05	
2	Розробка 2го розділу випускної роботи	30.05 – 07.06	
3	Розробка 3го розділу випускної роботи	07.06 – 12.06	
4	Нормоконтроль	15.06 – 17.06	
5	Рецензування випускної роботи	17.06 – 19.06	
6	Захист ВКРБ	20.06 – 15.06	

Здобувача вищої освіти



Коптєв Владислав Григорович

Керівник



Олег КУЛАЄНКО

РЕФЕРАТ

У роботі розглянуто технологічне обладнання для виробництва дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування як один із найбільш ефективних способів виготовлення тротуарної плитки та інших елементів благоустрою територій. Проаналізовано сучасні технологічні лінії та конструкції вібропресового обладнання, їх технічні характеристики, особливості експлуатації та напрямки подальшого вдосконалення.

Особливу увагу приділено дослідженню процесу ущільнення бетонної суміші під дією вібраційного навантаження та розробці конструкції вібропреса з двочастотним віброприводом. Виконано розрахунок основних параметрів модернізованого обладнання, визначено раціональні режими роботи та обґрунтовано можливість підвищення продуктивності технологічної лінії.

У роботі також розглянуто питання автоматизації процесу вібропресування, вибору елементів системи керування, а також заходи з охорони праці під час експлуатації технологічного обладнання. Проведено необхідні інженерні розрахунки з електробезпеки, освітлення та забезпечення нормативних умов праці.

Ключові слова: вібропресування, тротуарна плитка, дрібноштучні бетонні вироби, вібропрес, двочастотний вібропривід, бетонна суміш, ущільнення, автоматизація, продуктивність, охорона праці.

ABSTRACT

The thesis considers technological equipment for the production of small-sized concrete products by means of vibrocompression as one of the most efficient methods for manufacturing paving slabs and other landscaping elements. Modern technological production lines and vibropressing equipment designs, their technical characteristics, operating features, and directions for further improvement are analyzed.

Particular attention is paid to the study of the concrete mixture compaction process under vibration loading and to the development of a vibropress design equipped with a two-frequency vibration drive. The main parameters of the modernized equipment were calculated, rational operating modes were determined, and the possibility of increasing the productivity of the technological line was substantiated.

The thesis also addresses issues related to the automation of the vibrocompression process, the selection of control system components, and occupational safety measures during the operation of technological equipment. Necessary engineering calculations concerning electrical safety, workplace lighting, and the provision of standard working conditions were carried out.

Keywords: vibrocompression, paving slabs, small-sized concrete products, vibropress, two-frequency vibration drive, concrete mixture, compaction, automation, productivity, occupational safety.

ЗМІСТ

Розділ	Назва	стор
	Вступ	6
1	Аналіз проблеми	8
1.1.	Призначення та основні властивості дрібноштучних бетонних виробів	9
1.2.	Сировинні матеріали для виробництва дрібноштучних бетонних виробів	11
1.3.	Контроль якості сировинних матеріалів та готової продукції	17
1.4	Аналіз сучасних способів формування дрібноштучних бетонних виробів	22
2	Основна частина	26
2.1.	Аналіз обладнання для формування дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування	27
2.2.	Розробка вібропреса з двочастотним вібраційним приводом матриці	39
3	Спеціальний частина	59
3.1	Характеристика об'єкта управління	60
3.2	Опис технологічної лінії виробництва тротуарної плитки методом вібропресування	61
3.3	Автоматизація технологічної лінії виробництва тротуарної плитки методом вібропресування	62
4	Охорона праці та правила безпечної експлуатації обладнання для формування бетонних виробів	68
	Висновки	86
	Список літератури	88

ВСТУП

Одним із важливих напрямків розвитку сучасної будівельної галузі є вдосконалення технологій виробництва дрібноштучних бетонних виробів, які широко застосовуються під час благоустрою територій, облаштування пішохідних зон, автомобільних стоянок, площ, прибудинкових територій та інших об'єктів інфраструктури. Серед таких виробів особливе місце займають тротуарна плитка, бруківка, бордюрні камені та інші елементи мощення, які поєднують високі експлуатаційні характеристики з привабливим зовнішнім виглядом.

Упродовж останніх років попит на дрібноштучні бетонні вироби постійно зростає, що обумовлено їхньою довговічністю, технологічністю та економічною ефективністю. На сучасному ринку представлено широкий асортимент продукції, яка відрізняється не лише геометричними параметрами та дизайнерським оформленням, а й способом виготовлення. Найбільшого поширення набули технології вібраційного лиття та вібраційного пресування, серед яких саме метод вібропресування забезпечує найвищі показники продуктивності та якості готової продукції.

Широке використання тротуарної плитки пояснюється її значними експлуатаційними перевагами. Такі вироби характеризуються високою міцністю, стійкістю до механічних навантажень, багаторазових циклів заморожування та відтавання, атмосферних впливів і стирання. Крім того, важливими перевагами є простота монтажу, можливість швидкої заміни окремих пошкоджених елементів без демонтажу всього покриття, а також висока точність геометричних розмірів виробів.

Якість дрібноштучних бетонних виробів значною мірою визначається структурою бетонної суміші та технологією її ущільнення. Відомо, що довговічність бетонних виробів залежить від щільності їхньої структури, яка безпосередньо впливає на водопоглинання, морозостійкість і зносостійкість. Зменшення кількості пор та капілярів у бетоні дозволяє значно підвищити його експлуатаційні характеристики. Саме тому сучасні технології

виробництва орієнтовані на застосування ефективних методів ущільнення бетонної суміші, що забезпечують отримання виробів із мінімальною пористістю та високими фізико-механічними показниками.

Особливу роль у забезпеченні високої якості продукції відіграє технологічне обладнання. Виробники обладнання постійно працюють над удосконаленням конструкцій вібропресів, систем дозування компонентів, пристроїв подачі бетонної суміші та транспортних механізмів. Впровадження сучасних систем автоматичного керування, регульованих віброприводів та енергоефективних електромеханічних систем дозволяє підвищувати продуктивність технологічних ліній, знижувати енергетичні витрати та покращувати якість готових виробів.

У зв'язку з цим актуальним завданням є дослідження конструкцій обладнання для формування дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування та пошук шляхів його подальшого вдосконалення. Особливий інтерес становить модернізація вібропресового обладнання шляхом застосування сучасних приводних систем, які дозволяють керувати параметрами коливального процесу залежно від технологічних умов формування виробів.

У даній випускній кваліфікаційній роботі розглядаються питання удосконалення обладнання для виробництва дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування. Основна увага приділена аналізу існуючих конструкцій вібропресів та розробленню технічного рішення, пов'язаного із впровадженням двоступеневого регульованого вібропривода, який забезпечує підвищення ефективності ущільнення бетонної суміші та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Аналіз проблеми

1.1 Призначення та основні властивості дрібноштучних бетонних виробів

Дрібноштучні бетонні вироби, зокрема тротуарна плитка та елементи мощення, широко застосовуються під час облаштування пішохідних зон, прибудинкових територій, паркових алей, площ, автостоянок та інших об'єктів благоустрою. Використання таких виробів дозволяє створювати довговічні покриття з високими експлуатаційними характеристиками та привабливим зовнішнім виглядом.



Рис. 1.1 Загальний вигляд виробів (тротуарна плитка)

Останніми роками спостерігається суттєвий розвиток технологій виробництва бетонних елементів мощення. Сучасні методи формування забезпечують підвищення міцності виробів, покращення геометричної точності та розширення асортименту форм і кольорових рішень. Завдяки цьому тротуарна плитка стала не лише функціональним, а й важливим архітектурно-декоративним елементом міського середовища.

Залежно від геометричної конфігурації бетонні елементи мощення поділяють на декілька основних груп: квадратні, прямокутні, багатокутні,

фігурні та спеціальні декоративні вироби. Вибір форми визначається вимогами до покриття, особливостями його експлуатації та архітектурними рішеннями конкретного об'єкта.

До основних переваг тротуарної плитки належать висока механічна міцність, стійкість до атмосферних впливів, морозостійкість та ремонтпридатність. У разі пошкодження окремих елементів покриття їх можна швидко замінити без демонтажу всієї конструкції. Крім того, модульний принцип укладання значно спрощує виконання ремонтних і відновлювальних робіт.

Якість виробів значною мірою визначається структурою бетону. Для забезпечення високих експлуатаційних характеристик необхідно отримати щільний бетон із мінімальною кількістю пор та капілярів. Зменшення пористості сприяє підвищенню міцності, зниженню водопоглинання та покращенню опору циклічному заморожуванню і відтаванню.

Під час виготовлення виробів використовують дрібнозернисті бетонні суміші, до складу яких входять цемент, пісок, дрібний щебінь, вода та спеціальні модифікувальні добавки. Раціональний підбір компонентів забезпечує необхідні показники міцності, довговічності та зносостійкості готової продукції.

Особливу увагу приділяють геометричній точності виробів. Відхилення розмірів, викривлення граней або наявність поверхневих дефектів можуть ускладнювати процес укладання та негативно впливати на експлуатаційні властивості покриття. Саме тому сучасні технології передбачають використання високоточних формувальних комплексів та ефективних методів ущільнення бетонної суміші.

Важливими показниками якості бетонних елементів мощення є міцність на стиск, морозостійкість, стиранність і водопоглинання. Ці характеристики визначають здатність виробів зберігати свої властивості протягом тривалого терміну експлуатації під дією механічних навантажень та кліматичних факторів.

Для виробів, що використовуються в умовах інтенсивної експлуатації, особливо важливими є підвищена зносостійкість та стійкість до багаторазових циклів заморожування і відтавання. Досягнення необхідних показників забезпечується застосуванням якісної сировини, сучасних технологій ущільнення та раціональних режимів тверднення бетону.

1.2 Сировинні матеріали для виробництва дрібноштучних бетонних виробів

Якість дрібноштучних бетонних виробів значною мірою визначається характеристиками вихідних матеріалів, які використовуються для приготування бетонної суміші. Правильний вибір компонентів дозволяє отримати продукцію з високими показниками міцності, морозостійкості, водонепроникності та зносостійкості, що особливо важливо для виробів, які експлуатуються під впливом атмосферних факторів і механічних навантажень.

Основними складовими бетонної суміші для виробництва тротуарної плитки та інших дрібноштучних виробів є цемент, заповнювачі, вода та хімічні добавки. У деяких випадках до складу суміші також вводяться пігменти для надання виробам декоративних властивостей.

Цемент

Цемент є головним в'язучим компонентом бетонної суміші. Саме він забезпечує формування цементного каменю та зв'язування окремих частинок заповнювачів у монолітну структуру після завершення процесів тверднення.

Для виробництва дрібноштучних бетонних виробів найчастіше використовують портландцемент марок не нижче СЕМ І 42,5 або СЕМ І 52,5 відповідно до вимог чинних стандартів. Використання високомарочних цементів дозволяє отримати вироби з підвищеними показниками ранньої та кінцевої міцності, що особливо важливо при організації безперервного виробничого циклу.

До основних вимог, які висуваються до цементу, належать стабільність фізико-механічних властивостей, відсутність сторонніх домішок, висока активність та рівномірність помелу. Застосування цементу неналежної якості може призвести до появи тріщин, нерівномірного набору міцності та зниження довговічності готових виробів.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики портландцементу для виробництва вібропресованих виробів

Показник	Значення
Тип цементу	Портландцемент СЕМ І
Клас міцності	42,5–52,5 МПа
Початок тужавіння	не раніше 60 хв
Кінець тужавіння	не пізніше 10 год
Насипна густина	1100–1400 кг/м ³
Істинна густина	3000–3150 кг/м ³
Тонкість помелу	300–400 м ² /кг
Вміст SO ₃	не більше 3,5 %
Марка морозостійкості виробів на основі цементу	F200–F300
Рекомендована сфера застосування	Вібропресовані бетонні вироби

Пісок

Пісок виконує функцію дрібного заповнювача та є одним із найбільш важливих компонентів бетонної суміші. Від його зернового складу, чистоти та вологості залежить ущільнюваність суміші та якість поверхні готового виробу.

Для виробництва вібропресованої продукції рекомендується використовувати кварцові або природні піски з мінімальним вмістом пилюватих та глинистих частинок. Наявність значної кількості таких домішок погіршує адгезію між цементним каменем і зернами заповнювача, що негативно впливає на міцність бетону.

Оптимальний гранулометричний склад піску забезпечує щільне укладання зерен та зменшує кількість пустот у структурі суміші. Це сприяє зниженню витрат цементу та підвищенню техніко-економічних показників виробництва.

Таблиця 1.2 – Основні характеристики кварцового піску

Показник	Значення
Вид матеріалу	Природний кварцовий пісок
Модуль крупності	1,8–2,5
Насипна густина	1400–1700 кг/м ³
Істинна густина	2600–2650 кг/м ³
Вологість	3–7 %
Вміст пилоподібних частинок	не більше 3 %
Вміст глинистих домішок	не більше 1 %
Максимальний розмір зерен	до 5 мм
Коефіцієнт фільтрації	5–10 м/добу
Колір	світло-сірий або жовтуватий

Щебінь та відсів дроблення

Як крупний заповнювач при виготовленні дрібноштучних бетонних виробів використовують дрібнофракційний щебінь або гранітний відсів. Найбільш поширеними є фракції від 2 до 10 мм, які забезпечують високу щільність структури бетону та сприяють зростанню його міцності.

Особливо широко у виробництві тротуарної плитки застосовується гранітний відсів, який характеризується високою міцністю, стійкістю до стирання та низьким водопоглинанням. Використання такого матеріалу дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики готової продукції.

Крупний заповнювач повинен мати достатню міцність, морозостійкість та бути очищеним від пилу й органічних домішок. Наявність сторонніх включень може негативно впливати на процес формування виробів і погіршувати якість поверхні після розпалублення.

Таблиця 1.3 – Характеристики гранітного відсіву та дрібного щебеню

Показник	Значення
Тип заповнювача	Гранітний відсів
Фракція	2–5 мм
Насипна густина	1350–1600 кг/м ³
Істинна густина	2600–2800 кг/м ³
Марка за міцністю	M1200–M1400
Водопоглинання	до 1 %
Морозостійкість	F300–F400
Вміст пилоподібних частинок	до 2 %
Стираність	I1–I2
Радіаційний клас	I

Вода для приготування бетонної суміші

Вода бере участь у процесі гідратації цементу та забезпечує необхідну рухливість бетонної суміші під час її приготування і формування.

Для виробництва бетонних виробів використовується вода, яка відповідає вимогам нормативної документації щодо відсутності агресивних домішок, масел, кислот, лугів та органічних речовин. Якість води безпосередньо впливає на швидкість тверднення бетону та його кінцеві фізико-механічні властивості.

Важливим параметром є водоцементне відношення. Для вібропресованих виробів воно зазвичай має значно менші значення порівняно з литими бетонними сумішами, оскільки ущільнення відбувається за рахунок одночасної дії вібрації та пресування.

Таблиця 1.4 – Вимоги до води для приготування бетонної суміші

Показник	Значення
Тип води	Питна або технічна очищена
Водневий показник рН	6–8
Вміст масел та жирів	не допускається
Вміст органічних домішок	не допускається
Вміст сульфатів	до 2700 мг/л

Показник	Значення
Вміст хлоридів	до 500 мг/л
Температура води	10–25 °С
Густина	1000 кг/м³
Жорсткість	до 7 мг-екв/л
Відповідність нормативам	ДСТУ EN 1008

Хімічні добавки

З метою покращення технологічних властивостей бетонної суміші та підвищення якості виробів широко застосовують різноманітні хімічні добавки.

Найбільш поширеними є пластифікатори та суперпластифікатори, які дозволяють зменшити витрати води без погіршення формувальних властивостей суміші. Це забезпечує підвищення міцності та щільності бетону.

Крім пластифікуючих добавок використовують прискорювачі тверднення, повітровтягувальні компоненти, модифікатори структури бетону та комплексні добавки багатофункціональної дії.

Застосування сучасних хімічних модифікаторів дозволяє підвищити морозостійкість виробів, зменшити водопоглинання та збільшити термін їх експлуатації.

Таблиця 1.5 – Основні характеристики пластифікуючих добавок

Показник	Значення
Тип добавки	Суперпластифікатор
Основа	Полікарбосилати
Дозування	0,3–1,5 % від маси цементу
Зменшення витрати води	15–30 %
Збільшення міцності бетону	10–25 %
Підвищення морозостійкості	до F300
Зниження водопоглинання	10–20 %
Агрегатний стан	Рідина або порошок
Термін зберігання	12 місяців

Показник	Значення
Температура застосування	від +5 °С

Пігменти

Для надання декоративних властивостей виробам до складу бетонної суміші вводять мінеральні пігменти. Найбільш поширеними є оксиди заліза, які забезпечують отримання червоного, коричневого, жовтого та чорного кольорів.

Пігменти повинні бути стійкими до дії ультрафіолетового випромінювання, атмосферних опадів та лужного середовища цементного каменю. Високоякісні барвники забезпечують збереження кольору виробів протягом тривалого терміну експлуатації.

Таблиця 1.6 – Характеристики мінеральних пігментів

Показник	Значення
Тип пігменту	Оксиди металів
Основні кольори	Червоний, чорний, жовтий, коричневий
Дозування	2–8 % від маси цементу
Стійкість до ультрафіолету	Висока
Стійкість до лужного середовища	Висока
Вологість	до 1 %
Насипна густина	400–900 кг/м ³
Розмір частинок	0,1–10 мкм
Втрата кольору під час експлуатації	не більше 5 %
Термін експлуатації	понад 20 років

Таблиця 1.7 – Склад бетонної суміші для виробництва тротуарної плитки методом вібропресування

Компонент	Витрата на 1 м ³ суміші
Портландцемент СЕМ І 42,5	350–450 кг
Пісок кварцовий	700–900 кг
Гранітний відсів	700–1000 кг
Вода	120–160 л
Пластифікатор	1,5–5 кг
Пігмент (за необхідності)	5–25 кг

Таким чином, отримання якісних дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування можливе лише за умови використання ретельно підібраних сировинних компонентів. Раціональне поєднання цементу, заповнювачів, води та модифікувальних добавок забезпечує формування щільної структури бетону, високі показники міцності та довговічності готової продукції. Саме тому контроль якості сировинних матеріалів є одним із найважливіших етапів технологічного процесу виробництва.

1.3 Контроль якості сировинних матеріалів та готової продукції

Стабільність технологічного процесу виробництва дрібноштучних бетонних виробів значною мірою залежить від якості вхідної сировини та дотримання встановлених параметрів на всіх етапах виготовлення продукції. Система контролю якості повинна охоплювати весь виробничий цикл — від приймання матеріалів на склад до відвантаження готових виробів споживачу.

Основною метою контролю є забезпечення відповідності виробів вимогам нормативної документації, а також підтримання стабільних фізико-механічних характеристик продукції незалежно від умов виробництва.

Контроль якості здійснюється виробничою лабораторією підприємства та включає вхідний контроль сировини, операційний контроль технологічних процесів і приймально-здавальні випробування готової продукції.

Під час надходження цементу на підприємство перевіряють його супровідну документацію, дату виготовлення, марку та відповідність вимогам чинних стандартів.

У виробничих умовах особлива увага приділяється визначенню активності цементу, тонкості помелу, строків початку та закінчення тужавлення, а також рівномірності зміни об'єму цементного каменю.

Таблиця 1.8 – Основні показники контролю цементу

Показник	Нормативне значення
Клас міцності	не нижче 42,5
Початок тужавлення	не менше 60 хв
Кінець тужавлення	не більше 10 год
Тонкість помелу	не менше 300 м ² /кг
Вологість	не більше 1 %
Рівномірність зміни об'єму	відповідає нормам ДСТУ

Якість дрібного заповнювача істотно впливає на структуру бетонної суміші та зовнішній вигляд готових виробів. При контролі визначають гранулометричний склад, вміст пилюватих і глинистих домішок, вологість та насипну густину матеріалу.

Особливе значення має контроль вологості піску, оскільки від цього показника залежить кількість води, яка додається під час приготування бетонної суміші.

Таблиця 1.9 – Контрольовані параметри піску

Показник	Допустиме значення
Модуль крупності	1,8–2,5
Вологість	3–7 %
Вміст глинистих домішок	до 1 %
Вміст пилоподібних частинок	до 3 %
Насипна густина	1400–1700 кг/м ³

Під час приймання крупного заповнювача визначають його фракційний склад, міцність, морозостійкість та наявність сторонніх включень.

Для виробництва тротуарної плитки найбільш важливими є показники стираності та міцності, оскільки вони безпосередньо впливають на довговічність виробів.

Таблиця 1.10 – Основні показники контролю крупного заповнювача

Показник	Нормативне значення
Фракція	2–10 мм
Марка міцності	не нижче М1200
Морозостійкість	не нижче F300
Вміст пилюватих частинок	до 2 %
Водопоглинання	до 1 %

У процесі виробництва здійснюється постійний контроль параметрів бетонної суміші. Для технології вібропресування особливо важливими є жорсткість суміші, її однорідність та вологість.

Надлишковий вміст води може призвести до втрати форми виробу після пресування, тоді як недостатня кількість води ускладнює ущільнення суміші та негативно впливає на міцність готової продукції.

Таблиця 1.11 – Контрольовані параметри бетонної суміші

Показник	Значення
Вологість суміші	5–8 %
Водоцементне відношення	0,28–0,40
Температура суміші	10–30 °С
Однорідність складу	відповідає рецептурі
Розшарування	не допускається

Після завершення процесу формування та набору необхідної міцності готові вироби підлягають комплексним випробуванням.

Контроль охоплює перевірку зовнішнього вигляду, геометричних параметрів, фізико-механічних характеристик та довговічності продукції.

Під час візуального огляду не допускаються тріщини, відколи, раковини, значні відхилення кольору або інші дефекти поверхні.

Таблиця 1.12 – Контроль геометричних параметрів виробів

Показник	Допустиме відхилення
Довжина	±2 мм
Ширина	±2 мм
Товщина	±3 мм
Неплотинність поверхні	до 2 мм
Відхилення від прямокутності	до 2 мм

Визначення міцності виробів

Одним із найважливіших показників якості тротуарної плитки є міцність на стиск. Випробування проводять на гідравлічних пресах шляхом поступового навантаження зразків до моменту руйнування.

Таблиця 1.13 – Нормативні показники якості готової продукції

Показник	Значення
Міцність на стиск	не менше 40 МПа
Морозостійкість	F200–F300
Водопоглинання	не більше 6 %
Стираність	не більше 0,7 г/см ²
Середня густина	2200–2400 кг/м ³

Лабораторне обладнання для контролю якості

Для проведення випробувань на сучасних підприємствах використовують спеціалізоване лабораторне обладнання, яке дозволяє оперативно оцінювати якість сировини та готових виробів.

Таблиця 1.14 – Основне обладнання виробничої лабораторії

Найменування обладнання	Призначення
Лабораторний прес	Визначення міцності
Сушильна шафа	Визначення вологості
Ваги електронні	Дозування та контроль маси
Комплект сит	Аналіз зернового складу
Морозильна камера	Випробування на морозостійкість
Ванна водонасичення	Визначення водопоглинання
Штангенциркуль	Контроль геометричних розмірів

1.4 Аналіз сучасних способів формування дрібноштучних бетонних виробів

Якість дрібноштучних бетонних виробів значною мірою залежить від способу формування бетонної суміші. Саме на цьому етапі закладаються

основні фізико-механічні властивості майбутньої продукції, зокрема міцність, морозостійкість, водопоглинання та зносостійкість.

У сучасному виробництві найбільшого поширення набули три основні технології виготовлення бетонних виробів:

- вібролиття;
- вібраційне пресування;
- гіперпресування.

Кожен із зазначених способів має власні технологічні особливості, переваги та обмеження.

1.4.1 Формування виробів методом вібролиття

Технологія вібролиття передбачає заповнення форм бетонною сумішшю підвищеної рухливості з подальшим ущільненням на вібростолі. Під дією коливань відбувається видалення повітряних порожнин та рівномірний розподіл суміші по всьому об'єму форми.

Основними перевагами даного способу є простота технологічного обладнання, невисока вартість організації виробництва та можливість виготовлення виробів складної конфігурації.

Разом із цим технологія характеризується відносно низькою продуктивністю, значною трудомісткістю та підвищеним водопоглинанням готових виробів. Крім того, якість продукції значною мірою залежить від дотримання технологічних режимів та кваліфікації персоналу.

Таблиця 1.15 – Основні характеристики технології вібролиття

Показник	Значення
Рухливість суміші	П3–П5
Водоцементне відношення	0,40–0,55
Продуктивність	Низька
Рівень автоматизації	Низький
Якість поверхні виробів	Висока

Показник	Значення
Морозостійкість	F100–F200

1.4.2 Формування виробів методом вібраційного пресування

Найбільш поширеною технологією виробництва тротуарної плитки та інших дрібноштучних бетонних виробів є метод вібраційного пресування.

Процес формування здійснюється шляхом одночасного впливу на бетонну суміш пресуючого зусилля та вібраційних коливань. Використання жорстких бетонних сумішей із низьким водоцементним відношенням дозволяє отримувати вироби з високою щільністю структури та покращеними експлуатаційними характеристиками.

Сучасні вібропресові комплекси забезпечують високий рівень автоматизації виробництва, стабільність технологічних параметрів та значну продуктивність. Саме тому даний спосіб є основним для серійного виготовлення тротуарної плитки, бордюрів, поребриків та інших елементів благоустрою.

Таблиця 1.16 – Характеристики технології вібропресування

Показник	Значення
Рухливість суміші	Ж1–Ж4
Водоцементне відношення	0,25–0,35
Тривалість циклу формування	10–25 с
Продуктивність	Висока
Рівень автоматизації	Високий
Міцність виробів	40–60 МПа
Морозостійкість	F200–F300

Показник	Значення
Водопоглинання	4–6 %

До основних переваг технології належать висока продуктивність, мінімальна кількість ручних операцій, стабільна якість продукції та можливість організації безперервного виробничого процесу.

1.4.3 Формування виробів методом гіперпресування

Технологія гіперпресування базується на ущільненні напівсухої суміші під дією високого тиску без значного використання вібрації. Формування виробів відбувається при питомих тисках, які можуть досягати 20–40 МПа.

Вироби, виготовлені методом гіперпресування, характеризуються високою щільністю структури, значною міцністю та низьким водопоглинанням. Разом із тим використання такого способу потребує застосування дорогого обладнання та значних енергетичних витрат.

Таблиця 1.17 – Основні характеристики технології гіперпресування

Показник	Значення
Тиск пресування	20–40 МПа
Вологість суміші	3–6 %
Міцність виробів	50–80 МПа
Морозостійкість	F300–F500
Водопоглинання	3–5 %
Вартість обладнання	Висока

1.4.4 Порівняльна оцінка технологій формування

Для обґрунтування вибору технології виробництва доцільно виконати порівняльний аналіз основних показників розглянутих способів формування.

Таблиця 1.18 – Порівняння основних технологій виробництва дрібноштучних бетонних виробів

Показник	Вібrolиття	Вібропресування	Гіперпресування
Продуктивність	Низька	Висока	Середня
Автоматизація	Низька	Висока	Висока
Міцність виробів	Середня	Висока	Дуже висока
Морозостійкість	F100–F200	F200–F300	F300–F500
Собівартість продукції	Середня	Найнижча	Висока
Вартість обладнання	Низька	Середня	Висока

Висновки до розділу

Проведений аналіз показав, що серед розглянутих способів формування найбільш доцільним для серійного виробництва дрібноштучних бетонних виробів є метод вібраційного пресування. Дана технологія забезпечує високу продуктивність, ефективне ущільнення бетонної суміші, стабільну якість продукції та порівняно невисоку собівартість виготовлення виробів. Саме тому подальші дослідження в роботі будуть спрямовані на аналіз конструкції вібропресового обладнання та удосконалення його вібропривода.

Основна частина

2.1 Аналіз обладнання для формування дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасної будівельної індустрії є виробництво дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування. Постійне збільшення обсягів благоустрою територій, будівництва пішохідних зон, майданчиків, прибудинкових територій та об'єктів транспортної інфраструктури обумовлює зростання попиту на тротуарну плитку, бордюрні камені, елементи мощення та інші бетонні вироби.

Порівняно з традиційними технологіями виробництва керамічної та силікатної цегли, технологія вібропресування має низку суттєвих переваг. До них належать порівняно невеликі виробничі площі, нижчі енерговитрати на одиницю продукції, можливість використання місцевої сировини, високий рівень автоматизації виробничих процесів та широкий асортимент готових виробів. Крім того, використання сучасних вібропресових комплексів дозволяє отримувати продукцію з високими показниками міцності, морозостійкості та довговічності.

Ефективність роботи підприємств, що спеціалізуються на виготовленні дрібноштучних бетонних виробів, значною мірою залежить від конструктивних особливостей формувального обладнання. Саме тому питання удосконалення вібропресів та їх приводних систем залишається актуальним як з технічної, так і з економічної точки зору.

Продуктивність технологічної лінії визначається насамперед параметрами пресового обладнання, яке здійснює ущільнення бетонної суміші та формування виробів. У сучасних умовах основними напрямками розвитку вібропресового обладнання є:

- підвищення ступеня автоматизації виробничих процесів;
- зниження матеріалоємності конструкцій;
- скорочення питомих витрат електроенергії;

- збільшення продуктивності обладнання;
- підвищення надійності та довговічності механізмів;
- розширення номенклатури продукції шляхом застосування змінного формувального оснащення;

- забезпечення стабільної якості готових виробів;
- покращення умов праці обслуговуючого персоналу.

Технологія вібраційного пресування передбачає ущільнення жорсткої бетонної суміші шляхом одночасного впливу статичного навантаження та вібраційних коливань. Під дією вібрації відбувається інтенсивне ущільнення суміші, видалення повітряних порожнин і рівномірний розподіл компонентів бетону по всьому об'єму виробу. Завдяки цьому забезпечуються високі показники щільності та міцності продукції.

До основних переваг методу вібропресування належать:

- висока продуктивність обладнання;
- можливість безперервної роботи технологічної лінії;
- низьке водоцементне відношення бетонної суміші;
- висока якість поверхні виробів;
- стабільність геометричних розмірів продукції;
- можливість виготовлення двошарових декоративних виробів;
- значний рівень автоматизації виробництва.

На світовому ринку обладнання для вібропресування працює значна кількість виробників, які спеціалізуються на проектуванні та виготовленні сучасних технологічних комплексів. Найбільш відомими компаніями є **HESS, Masa Group, Zenith Maschinenfabrik, Besser Company, Rosacometta, Lori**, а також низка українських та польських виробників вібропресового обладнання.

Сучасні виробничі лінії являють собою комплекс взаємопов'язаних машин і механізмів, що забезпечують повний цикл виготовлення бетонних виробів: від підготовки сировинних компонентів до складування готової продукції. До складу таких комплексів входять системи дозування,

бетонозмішувачі, транспортуючі пристрої, вібропресове обладнання, автоматичні укладальники піддонів та складські системи.

Одним із прикладів технологічного комплексу для виробництва дрібноштучних бетонних виробів є лінія «Рифей-Луч». Дане обладнання призначене для серійного випуску тротуарної плитки, бетонних блоків, бордюрних каменів та інших елементів благоустрою.

Технологічний комплекс характеризується компактністю розташування обладнання, відносно невеликими енергетичними витратами та можливістю швидкої заміни формувального оснащення.



2.1 – Компонівка обладнання лінії «Рифей-Луч»

До складу комплексу входять: Дозувальна система для цементу, заповнювачів та води. Бетонозмішувач примусової дії. Система транспортування бетонної суміші. Формувальний вібропрес. Комплект змінних матриць і пуансонів.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика лінії «Рифей-Луч»

Показник	Значення
Продуктивність по стінових блоках	до 500 шт/год
Продуктивність по тротуарній плитці	300–350 м ² /зміну

Показник	Значення
Висота формованих виробів	50–240 мм
Встановлена потужність	35,7 кВт
Тип технології	Вібраційне пресування

Основною перевагою даного комплексу є універсальність, що дозволяє виготовляти широкий асортимент виробів без значних конструктивних змін обладнання.

Серед сучасних автоматизованих комплексів особливу увагу привертає вібропресова лінія «Титан», яка характеризується високим рівнем автоматизації та застосуванням електронних систем керування технологічними процесами.

Особливістю даного обладнання є використання спеціального режиму вібраційного впливу, що забезпечує якісне ущільнення бетонної суміші та знижує ймовірність руйнування свіжоформованих виробів під час розпалублення.



2.2 – Компоновка обладнання лінії «Титан»

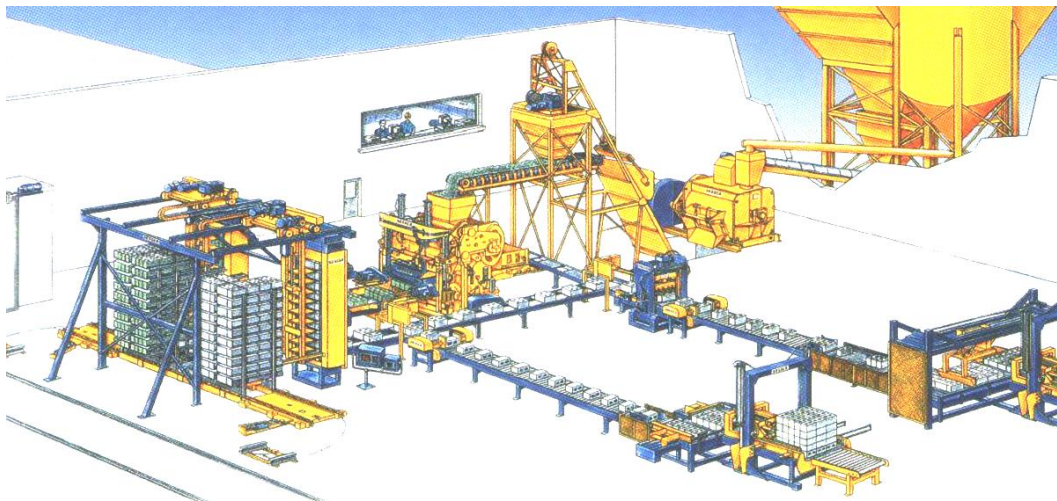
Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики лінії «Титан»

Показник	Значення
Габаритні розміри	2150×2600×2700 мм
Частота вібрації	2800–4700 хв ⁻¹
Розмір формувальної плити	850×680 мм
Тривалість циклу	15–20 с
Встановлена потужність	32 кВт
Маса обладнання	8000 кг

Завдяки використанню сучасної системи управління забезпечується стабільність технологічного процесу та висока якість готової продукції.

Одним із світових лідерів у сфері виробництва вібропресового обладнання є компанія «Besser». Її технологічні комплекси широко застосовуються на підприємствах різних країн для виготовлення тротуарної плитки, стінових блоків, бордюрних каменів та інших бетонних виробів.

Основними перевагами обладнання даної компанії є висока продуктивність, надійність роботи, довговічність основних вузлів та можливість інтеграції до автоматизованих виробничих ліній.



2.3 – Лінія виготовлення бетонних виробів фірми «Besser»

Сучасні комплекси компанії забезпечують практично безперервний виробничий цикл та дозволяють отримувати продукцію високої якості при мінімальних витратах ручної праці.

На сучасних підприємствах використовується велика кількість конструктивних схем вібропресів, які відрізняються принципом роботи, конструкцією формувального вузла та типом приводних систем.

Залежно від конструктивного виконання вібропреси поділяються на:

- машини зі стаціонарною прес-формою та рухомим піддоном;
- машини з вібруючою прес-формою;
- машини з комбінованою схемою вібраційного впливу.

За кількістю виробів, що формуються за один цикл, обладнання поділяють на:

- одnogніздне;
- багатогніздне.

За типом віброзбудника розрізняють:

- дебалансні вібратори;
- інерційні вібратори;
- віброзбудники кінематичного типу.

За характером коливань вібропреси можуть створювати:

- гармонічні коливання;
- ударні коливання;
- комбіновані режими вібрації.

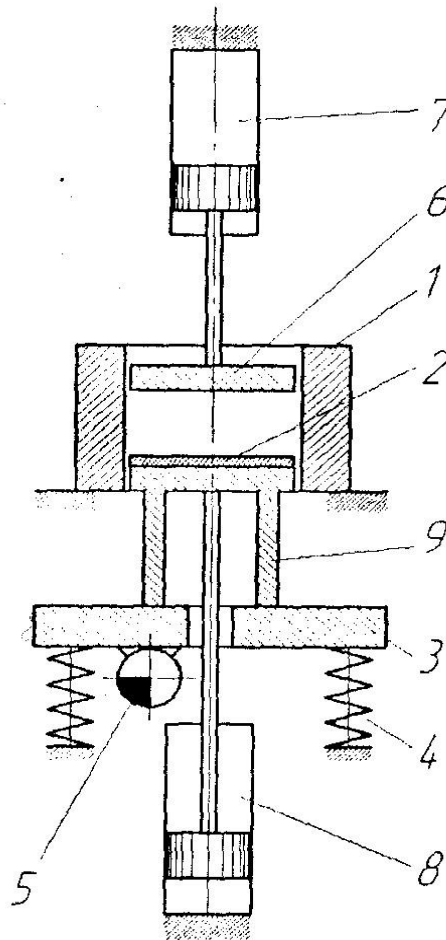
За способом створення пресувального зусилля використовують:

- гідравлічні системи;
- пневматичні системи;
- комбіновані гідропневматичні системи.

Найбільшого поширення в промисловості набули гідравлічні вібропреси, які забезпечують стабільне зусилля ущільнення та високу якість готових виробів.

Аналіз конструкції вібропреса ВП-6ПБ

Одним із представників універсального вібропресового обладнання є вібропрес типу ВП-6ПБ, який призначений для виробництва тротуарної плитки, бетонних блоків, бордюрних каменів та інших дрібноштучних виробів.



2.4 – Конструктивна схема вібропреса ВП-6ПБ]

1– прес-форма; 2 – піддон; 3 – вібростіл; 4 – пружний елемент;
5 – відцентровий дебалансний вібратор; 6 – пуансон; 7, 8 – робочі циліндри

Конструкція машини включає прес-форму, вібростіл, систему пружних елементів, дебалансний віброзбудник, пуансон та гідроциліндри створення пресувального зусилля.

Основною перевагою даного обладнання є можливість регулювання висоти виробів у широкому діапазоні, що дозволяє використовувати одну

машину для виготовлення декількох типів продукції. Крім того, застосування змінних матриць значно розширює технологічні можливості обладнання.

Серед великої кількості вібропресового обладнання, представленого на ринку будівельних машин, окрему увагу заслуговують установки серії **МАСТЕК**, які поєднують високу продуктивність, компактність конструкції та можливість виготовлення широкого асортименту дрібноштучних бетонних виробів. Дані машини застосовуються для виробництва тротуарної плитки, стінових блоків, бордюрних каменів та інших елементів благоустрою.

Особливістю стаціонарних вібропресів даної серії є використання ефективної системи ущільнення бетонної суміші, що забезпечує отримання виробів із високими показниками міцності та стабільною геометрією. Конструкція обладнання дозволяє організувати серійне виробництво з мінімальною кількістю ручних операцій.



2.5 – Стаціонарний вібропрес МАСТЕК

Вібропрес МАСТЕК характеризується високими виробничими показниками та може використовуватись як на невеликих підприємствах, так і в складі автоматизованих виробничих комплексів.

Таблиця 2.3 – Продуктивність вібропреса МАСТЕК

Найменування продукції	Продуктивність
Шлакоблоки	до 400 шт/год
Тротуарна плитка	понад 40 м ² /год
Бордюрний камінь	до 80 пог. м/год

Високі показники продуктивності досягаються завдяки раціональній конструкції формувального вузла, використанню гідравлічної системи приводу та оптимальному режиму вібраційного впливу на бетонну суміш.

Таблиця 2.4 – Основні технічні характеристики вібропреса МАСТЕК

Параметр	Значення
Загальна маса обладнання	8600 кг
Розмір формувальної зони	400 × 1000 мм
Висота формування виробів	50–220 мм
Тривалість одного циклу	30 с
Тип приводу матриці та пуансона	гідравлічний
Робочий тиск у гідросистемі	7–8 МПа
Частота коливань вібростола	75 Гц
Встановлена потужність	22 кВт
Потужність вібростола	5 кВт

Проведений аналіз показує, що обладнання даного типу забезпечує достатньо високу продуктивність при порівняно невеликих енерговитратах. Разом із тим існують резерви підвищення ефективності роботи машини за рахунок удосконалення конструкції вібропривода та оптимізації режимів ущільнення бетонної суміші.

Значний інтерес для дослідження також становлять автоматизовані вібропресові комплекси серії **Titan**, які належать до сучасного покоління обладнання для виробництва дрібноштучних бетонних виробів.

Виробником передбачено дві основні модифікації даної машини:

- **Titan 8 VP** — для виготовлення одношарових бетонних виробів;
- **Titan 8 VPF** — для виробництва як одношарових, так і двошарових виробів із декоративним лицевим шаром.

Використання двошарової технології дозволяє значно покращити зовнішній вигляд продукції та підвищити її експлуатаційні характеристики.



2.6 – Вібропрес Titan 8 VPF]

Конструкція обладнання передбачає високий рівень автоматизації виробничих процесів. Управління машиною здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера, що дозволяє підтримувати стабільність технологічних параметрів та мінімізувати вплив людського фактора на якість готової продукції.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики вібропреса Titan 8 VPF

Параметр	Значення
Номінальне зусилля пресування	64 кН
Частота коливань	0–4500 хв ⁻¹
Споживана потужність	38,9 кВт
Спосіб формування	автоматичний
Тип виробів	одношарові та двошарові
Система керування	ПЛК
Розмір піддона	860×860×25 мм
Альтернативний розмір піддона	860×860×40 мм
Тривалість циклу формування	15–20 с
Габаритні розміри	4500×2020×3020 мм
Маса обладнання	10 т
Річна продуктивність по плитці	до 450 000 м ²

Максимальна ефективність роботи вібропресового обладнання досягається при його експлуатації у складі автоматизованої виробничої лінії, до якої входять системи приготування бетонної суміші, транспортні механізми, накопичувачі піддонів та камери тепловологісної обробки виробів.

Порівняльний аналіз розглянутих конструкцій показує, що сучасні вібропреси забезпечують високу якість продукції, проте їхня вартість та складність конструкції суттєво зростають із підвищенням ступеня автоматизації. Для невеликих та середніх підприємств найбільш доцільним є використання компактних машин із відносно простою конструкцією та достатнім запасом продуктивності.

Саме з цієї точки зору особливий інтерес становить вібропрес **ВП-6ПБ**, який у даній роботі приймається як базовий аналог для подальшої

модернізації. Дана машина відрізняється порівняно невеликими габаритами, простотою конструкції, невеликою кількістю вузлів та можливістю швидкого переналагодження під різні види продукції.

До основних переваг вібропреса ВІП-6ПБ належать:

- універсальність використання;
- простота технічного обслуговування;
- невелика металоємність конструкції;
- можливість виготовлення широкої номенклатури виробів;
- низькі експлуатаційні витрати;
- ремонтпридатність основних вузлів;
- можливість модернізації приводу без суттєвого ускладнення

конструкції.

Враховуючи зазначені переваги, а також необхідність підвищення продуктивності обладнання до **36 м² тротуарної плитки за годину** шляхом одночасного формування чотирьох виробів за цикл, у подальших розділах роботи буде виконано аналіз конструкції базового вібропреса та розроблено модернізований двоступеневий регульований вібропривід, який дозволить підвищити ефективність процесу ущільнення бетонної суміші та покращити якість готової продукції.

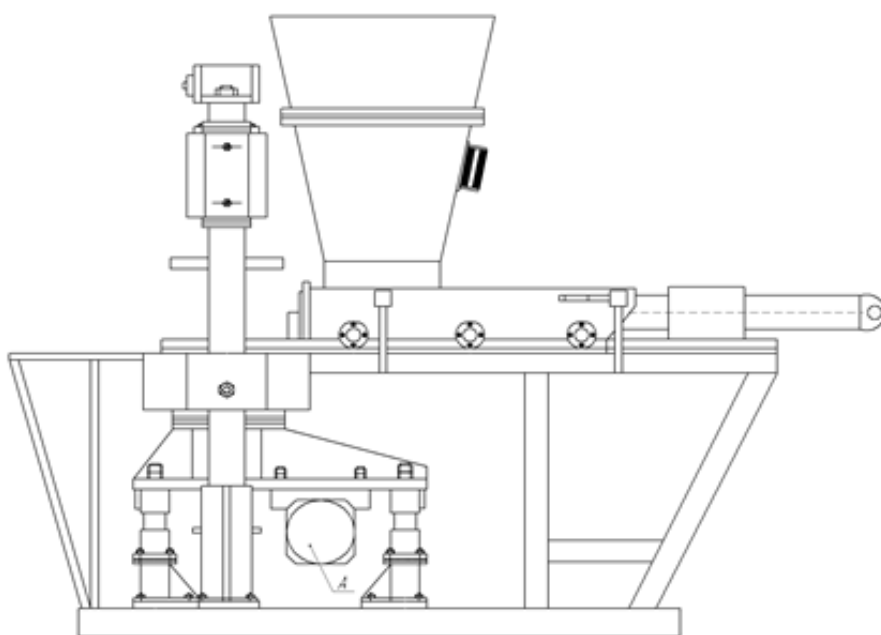
2.2 Розробка вібропреса з двочастотним вібраційним приводом матриці

2.2.1 Розробка та обґрунтування конструктивного рішення

За результатами проведеного аналізу існуючих конструкцій вібропресового обладнання для подальшого вдосконалення обрано вібропрес типу ВІП-6ПБ. Дана машина характеризується порівняно простою конструкцією, невеликими габаритними розмірами та можливістю виготовлення широкого асортименту дрібноштучних бетонних виробів. Разом із тим експлуатаційний досвід показує, що традиційна схема вібраційного впливу не завжди забезпечує оптимальні умови ущільнення

жорстких бетонних сумішей, особливо при виготовленні тротуарної плитки підвищеної міцності.

Аналіз сучасних досліджень у галузі вібраційного формування показує, що найбільш ефективно ущільнення багатокомпонентних бетонних сумішей досягається при використанні полічастотних режимів коливань. Застосування декількох частотних складових дозволяє забезпечити більш інтенсивний вплив на різні фракції заповнювачів, покращити перерозподіл компонентів суміші та підвищити ступінь її ущільнення.



2.7 – Загальний вигляд вібропреса ВІП-6ПБ]

У традиційній конструкції вібропреса використовується однорежимний дебалансний віброзбудник, який створює коливання з постійними параметрами. Подібне рішення відрізняється простотою, однак не дозволяє реалізувати різні режими ущільнення на окремих стадіях формування виробу.

У конструкціях сучасних зарубіжних вібропресів для отримання двочастотного режиму роботи часто застосовують декілька незалежних віброзбудників, які встановлюються на формувальному вузлі та приводяться в рух окремими електродвигунами через пасові передачі. Такий підхід

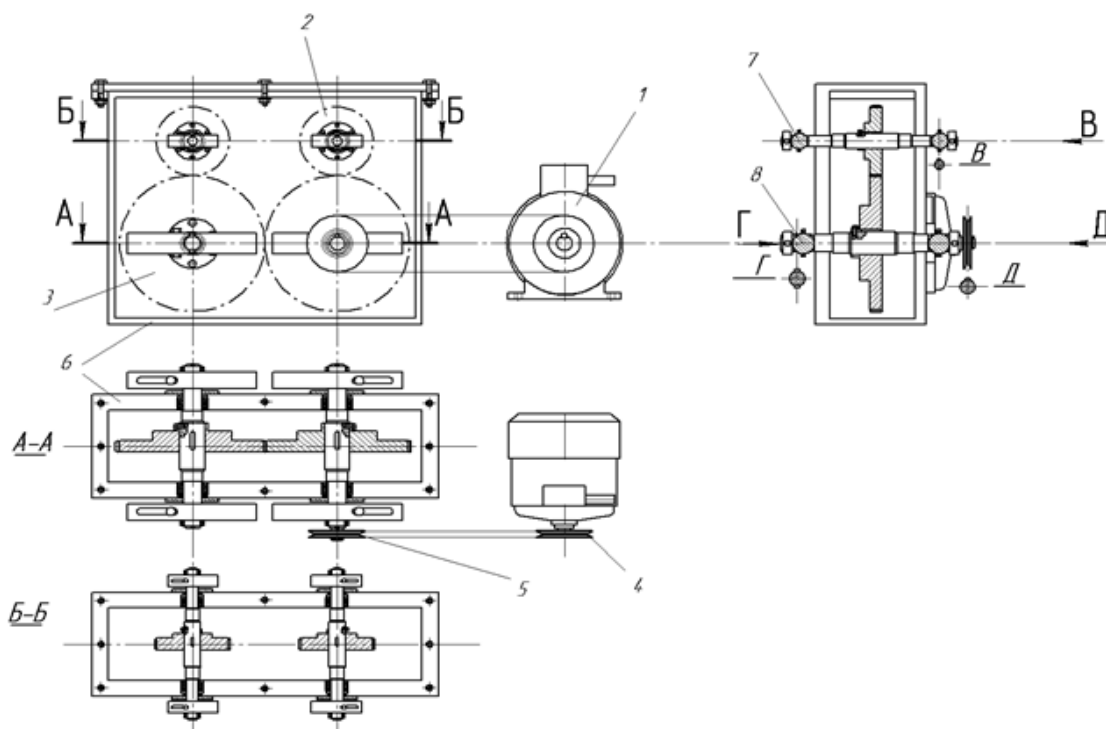
дозволяє формувати складні режими коливань, проте призводить до ускладнення конструкції, збільшення металоємності та нерівномірного розподілу вібраційних навантажень по площі формування.

Додатковим недоліком багатовібраторних схем є виникнення перекосів і крутильних коливань формувального столу внаслідок того, що лінії дії збуджувальних сил не проходять через центр мас коливної системи. У результаті цього окремі ділянки бетонної суміші ущільнюються нерівномірно, що негативно впливає на якість готових виробів.

З метою усунення зазначених недоліків у даній роботі запропоновано модернізацію вібропреса шляхом встановлення нового двочастотного вібропривода з регульованими параметрами збудження. Конструкція модернізованого привода базується на використанні основних і додаткових дебалансів, що забезпечують формування вертикально спрямованих коливань різної частоти.

Основною особливістю запропонованої конструкції є можливість автоматичного переходу від одного режиму вібраційного впливу до іншого в межах одного циклу формування виробу. Це дозволяє створити більш сприятливі умови для ущільнення бетонної суміші на різних етапах технологічного процесу.

На початковій стадії формування доцільно використовувати режим із нижчою частотою та збільшеною амплітудою коливань, що забезпечує інтенсивне заповнення порожнин форми та рівномірний розподіл суміші по всій площі матриці. На завершальному етапі ущільнення застосовується режим підвищеної частоти, який сприяє ефективному видаленню повітряних включень і досягненню максимальної щільності структури бетону.

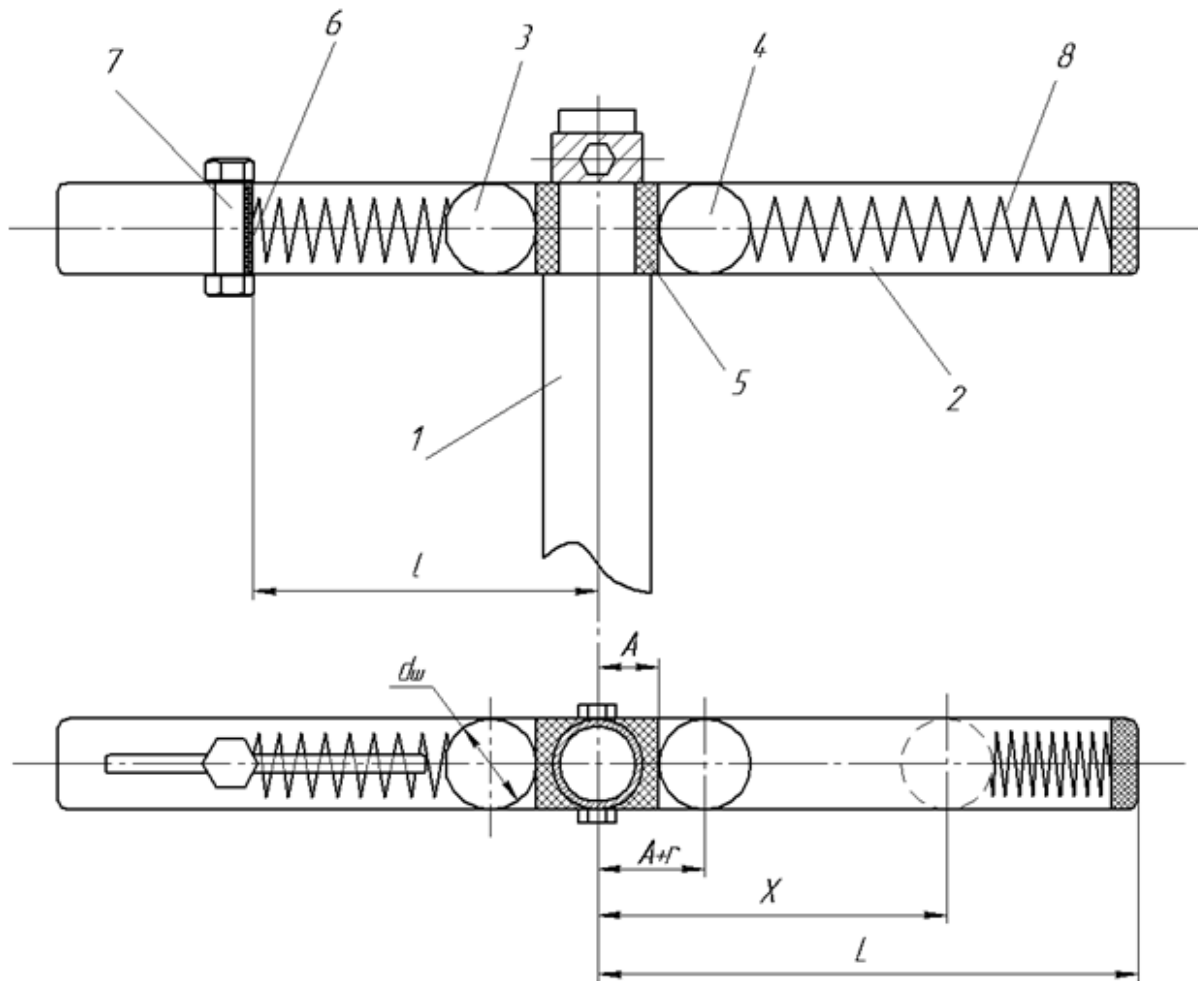


2.8 – Конструктивна схема двочастотного вібропривода]

Запропонований вібропривод складається з електродвигуна, системи зубчастих передач, пасового привода, основних і додаткових дебалансів, розташованих у спеціальних дебалансних камерах. Така конструкція забезпечує компактність обладнання та дозволяє реалізувати декілька режимів роботи без істотного збільшення габаритів машини.

Для підвищення ефективності роботи вібросистеми передбачено використання дебалансів із регульованим частотним порогом спрацьовування. Це дає можливість автоматично змінювати параметри коливального процесу залежно від швидкості обертання привода та поточного режиму формування виробів.

Конструкція регульованого дебаланса включає приводний вал, дебалансну камеру, рухомі маси, демпфувальні елементи, пружини та обмежувачі переміщення. Взаємодія зазначених елементів забезпечує зміну ексцентриситету системи та відповідне регулювання величини збуджувальної сили.



2.9 – Принципова схема дебаланса з регульованим частотним порогом збудження

1 – приводний вал; 2 – дебалансна камера; 3, 4 – кулі; 5 – демпфер;
6 – пружний елемент; 7 – обмежник; 8 – пружина

Застосування запропонованої конструкції дозволяє отримати низку переваг порівняно з базовим варіантом вібропреса:

- підвищення інтенсивності ущільнення бетонної суміші;
- покращення однорідності структури виробів;
- зменшення тривалості формувального циклу;
- підвищення міцності та морозостійкості продукції;
- зниження енерговитрат на одиницю продукції;

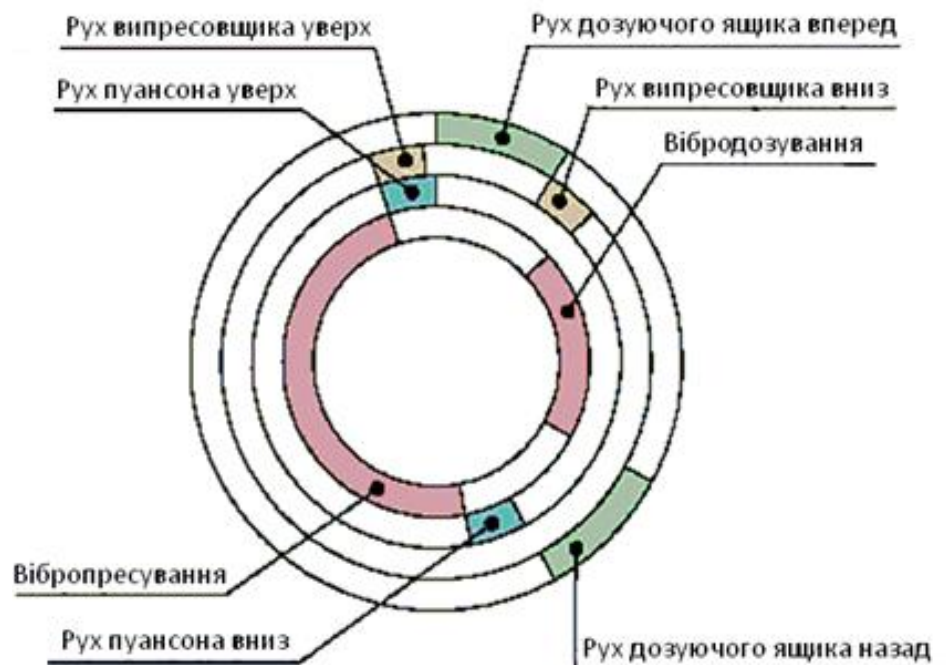
- збільшення продуктивності вібропреса;
- можливість реалізації різних режимів формування без зміни конструкції обладнання.

Використання двочастотного вібропривода створює передумови для збільшення кількості виробів, що формуються за один цикл, з двох до чотирьох плиток розміром $250 \times 250 \times 40$ мм. Це дозволяє підвищити продуктивність модернізованого вібропреса до $36 \text{ м}^2/\text{год}$ без суттєвого збільшення тривалості циклу формування.

Таким чином, запропонована модернізація забезпечує підвищення технічних та економічних показників роботи обладнання і є доцільною для впровадження на підприємствах, що спеціалізуються на виробництві дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування.

3.2.2 Методика розрахунку основних параметрів вібропреса

Розрахунок продуктивності вібропреса



2.10 – Циклограма роботи вібропреса]

Вібропрес працює у циклічному режимі, тому його продуктивність визначається площею виробів, що формуються за один цикл, та тривалістю циклу.

Приймаємо тривалість одного циклу $T_{\text{ц}} = 25\text{с}$

Модернізована матриця забезпечує формування 4 плиток розміром $250 \times 250 \times 40\text{мм}$

Площа однієї плитки: $S_1 = 0,25 \cdot 0,25 = 0,0625\text{м}^2$

Площа виробів за один цикл: $S_{\text{ц}} = 4 \cdot 0,0625 = 0,25\text{м}^2$

Продуктивність вібропреса:

$$Q = \frac{3600 \cdot S_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}$$
$$Q = \frac{3600 \cdot 0,25}{25} = 36\text{ м}^2/\text{год}$$

Визначення об'єму та маси бетонної суміші за цикл

Об'єм однієї плитки: $V_1 = 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,04 = 0,0025\text{м}^3$

Об'єм бетонної суміші за цикл: $V_{\text{ц}} = 4 \cdot 0,0025 = 0,01\text{м}^3$

Приймаємо густину бетонної суміші: $\rho = 2300\text{кг/м}^3$

Вибір статичного тиску пресування

Для жорстких бетонних сумішей раціональне значення статичного тиску приймається в межах: $P_{\text{ст}} = 0,05 \dots 0,08\text{МПа}$

Для модернізованого вібропреса приймаємо: $P_{\text{ст}} = 0,08\text{МПа}$

Необхідне статичне зусилля: $Q_{\text{ст}} = 0,08 \cdot 106 \cdot 0,25 = 20000\text{Н}$

Отже: $Q_{\text{ст}} = 20\text{кН}$

Вибір частот та амплітуд коливань

Для двочастотного режиму приймаємо: $f_1 = 60\text{Гц}$

Кутові частоти: $\omega^1 = 2\pi f_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 = 376,8\text{с}^{-1}$

Приймаємо амплітуди: $A_1 = 0,001\text{м}$. $A_2 = 0,0002\text{м}$

Визначення збуджувальної сили

Приймаємо масу коливальної системи:

$$m = m_{\text{м}} + m_{\text{п}} + m_{\text{б}}$$

де: $m_m = 160$ кг, $m_n = 80$ кг, $m_6 = 23$ кг

$$m = 160 + 80 + 23 = 263 \text{ кг}$$

Збуджувальна сила для низькочастотного режиму:

$$F_1 = m \cdot \omega_1^2 \cdot A_1$$

$$F_1 = 263 \cdot 376,8^2 \cdot 0,001 = 37340 \text{ Н}$$

$$F_1 \approx 37,3 \text{ кН}$$

Збуджувальна сила для високочастотного режиму:

$$F_2 = m \cdot \omega_2^2 \cdot A_2$$

$$F_2 = 263 \cdot 659,4^2 \cdot 0,0002 = 22870 \text{ Н}$$

$$F_2 \approx 22,9 \text{ кН}$$

Визначення параметрів гідроциліндрів

З урахуванням коефіцієнта запасу:

$$k = 1,25$$

$$Q_{\text{розр}} = k \cdot Q_{\text{ст}}$$

$$Q_{\text{розр}} = 1,25 \cdot 20000 = 25000 \text{ Н}$$

Приймаємо два гідроциліндри, тоді зусилля на один циліндр:

$$Q_1 = \frac{25000}{2} = 12500 \text{ Н}$$

Тиск у гідросистемі: $p = 2,5$ МПа

Площа поршня:

$$A = \frac{Q_1}{p}$$

$$A = \frac{12500}{2,5 \cdot 10^6} = 0,005 \text{ м}^2$$

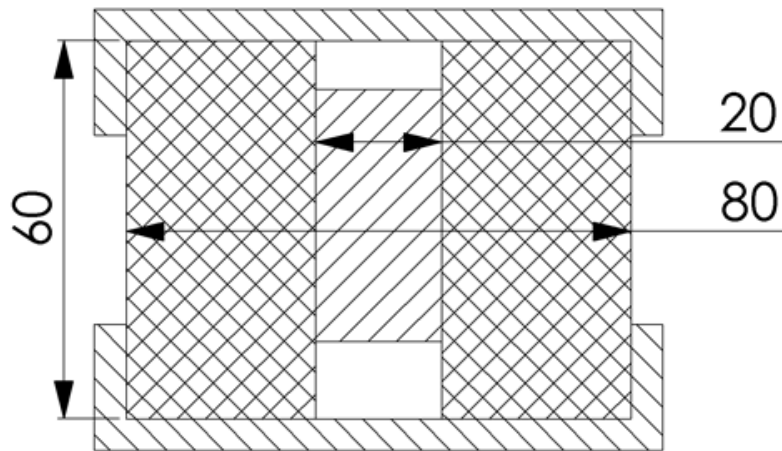
Діаметр поршня:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14}} = 0,0798 \text{ м}$$

Приймаємо: $d = 80 \text{ мм}$

Розрахунок пружних опор матриці



2.11 – Розміри гумового пружного елемента

Приймаємо кількість гумових опор: $n = 4$

Діаметр опори: $D = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$

Радіус: $R = 0,04 \text{ м}$

Висота: $h = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$

Модуль зсуву гуми: $G = 1,34 \text{ МПа}$

Модуль пружності:

$$E \approx 3G = 3 \cdot 1,34 = 4,02 \text{ МПа}$$

Площа опори:

$$A_0 = \pi R^2$$

$$A_0 = 3,14 \cdot 0,04^2 = 0,00502 \text{ м}^2$$

Жорсткість однієї опори:

$$C_1 = \frac{E \cdot A_0}{h}$$

$$C_1 = \frac{4,02 \cdot 10^6 \cdot 0,00502}{0,08} = 252255 \text{ Н/м}$$

Сумарна жорсткість чотирьох опор:

$$C_{\Sigma} = 4 \cdot C_1$$

$$C_{\Sigma} = 4 \cdot 252255 = 1009020 \text{ Н/м}$$

$$C_{\Sigma} \approx 1,01 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$$

Отже, прийняті гумові опори діаметром 80 мм і висотою 80 мм забезпечують необхідну пружність коливальної системи.

2.2.3 Розрахунок основних параметрів вібропривода

Для модернізованого вібропреса приймаємо наступні розрахункові параметри

Параметр	Позначення	Значення
Маса матриці	тм	160 кг
Маса пуансона	тп	80 кг
Маса бетонної суміші за цикл	тб	23 кг
Загальна маса коливальної системи	т	263 кг
Низька частота коливань	f1	60 Гц
Висока частота коливань	f2	105 Гц
Амплітуда на низькій частоті	A1	0,001 м
Амплітуда на високій частоті	A2	0,0002 м

Параметр	Позначення	Значення
Кількість плиток за цикл	z	4 шт
Площа виробів за цикл	$S_{\text{ц}}$	$0,25 \text{ м}^2$
Об'єм бетонної суміші за цикл	$V_{\text{ц}}$	$0,01 \text{ м}^3$

Визначення кутових частот

Кутова частота визначається залежністю:

$$\omega = 2\pi f$$

Для низькочастотного режиму:

$$\omega_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 = 376,8 \text{ с}^{-1}$$

Для високочастотного режиму:

$$\omega_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 105 = 659,4 \text{ с}^{-1}$$

Визначення збуджувальних сил

Збуджувальна сила визначається за формулою:

$$F = m\omega^2 A$$

Для низькочастотного режиму:

$$F_1 = 263 \cdot 376,82 \cdot 0,001$$

$$F_1 = 37340 \text{ Н} = 37,34 \text{ кН}$$

Для високочастотного режиму:

$$F_2 = 263 \cdot 659,42 \cdot 0,0002$$

$$F_2 = 22870 \text{ Н} = 22,87 \text{ кН}$$

Отже, вібропривід повинен забезпечувати збуджувальну силу яка дорівнюватиме:

$$F_1 = 37,34 \text{ кН}$$

$$F_2 = 22,87 \text{ кН}$$

Визначення статичних моментів дебалансів

Статичний момент дебалансної маси визначається залежністю:

$$M_{ст} = \frac{F}{\omega^2}$$

Для основних дебалансів:

$$M_{ст2} = \frac{22870}{659,4^2}$$

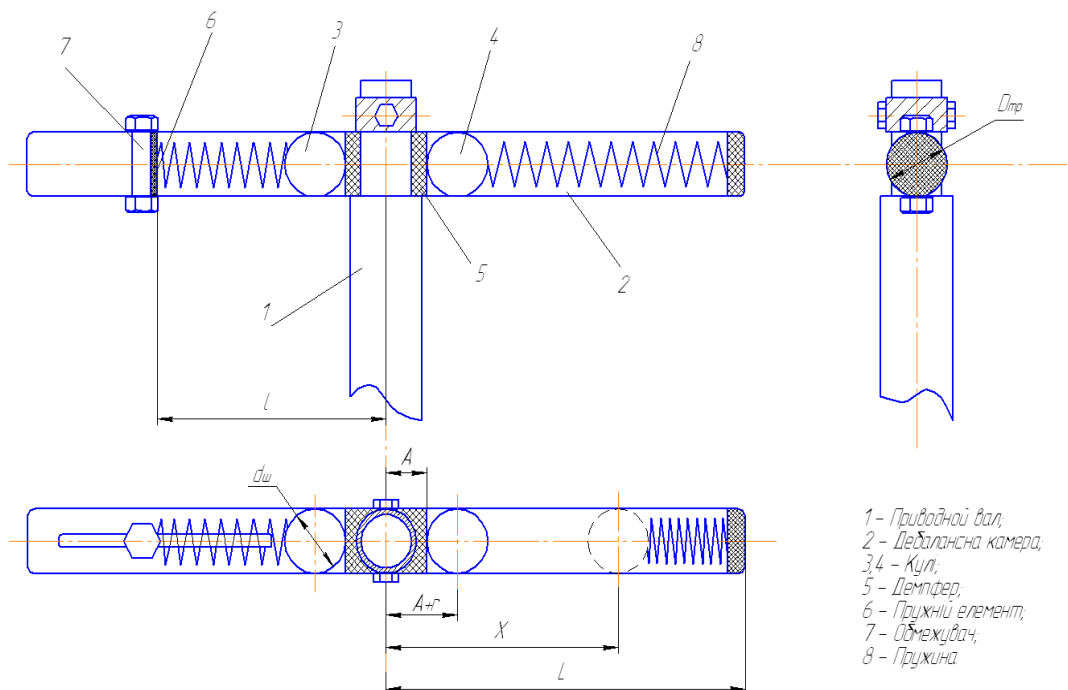
$$M_{ст2} = 0,0526 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Для додаткових дебалансів:

$$M_{ст2} = \frac{22870}{659,4^2}$$

$$M_{ст2} = 0,0526 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Визначення параметрів основних дебалансів



2.12 – Розрахункова схема основних і додаткових дебалансів

Приймаємо радіус розташування центра маси основного дебаланса:

$$r_1 = 0,08 \text{ м}$$

Маса основного дебаланса:

$$m_1 = \frac{M_{ст1}}{r_1}$$
$$m_1 = \frac{0,263}{0,08} = 3,29 \text{ кг}$$

Приймаємо: $m_1=3,3 \text{ кг}$

Визначення параметрів додаткових дебалансів

Приймаємо радіус розташування центра маси додаткового дебаланса:

$$r_2=0,05 \text{ м}$$

Маса додаткового дебаланса:

$$m_2 = \frac{M_{ст2}}{r_2}$$
$$m_2 = \frac{0,0526}{0,05} = 1,05 \text{ кг}$$

Приймаємо: $m_2 = 1,1 \text{ кг}$

У результаті розрахунку встановлено, що для модернізованого вібропреса з продуктивністю 36 м²/год необхідно застосувати двочастотний вібропривід із такими параметрами:

Параметр	Значення
Низька частота	60 Гц
Висока частота	105 Гц
Збуджувальна сила на низькій частоті	37,34 кН
Збуджувальна сила на високій частоті	22,87 кН
Статичний момент основних дебалансів	0,263 кг·м
Статичний момент додаткових дебалансів	0,0526 кг·м
Маса основного дебаланса	3,3 кг
Маса додаткового дебаланса	1,1 кг

2.2.4 Визначення потужності, що витрачається у віброприводі преса

Потужність вібропривода визначається з урахуванням роботи, що витрачається на створення коливань матриці, подолання внутрішнього опору бетонної суміші, тертя в підшипникових вузлах та можливих перевантажень під час запуску обладнання.

Для розрахунку приймаємо наступні вихідні дані:

$$F_1 = 37,34 \text{ кН} = 37340 \text{ Н}$$

$$F_2 = 22,87 \text{ кН} = 22870 \text{ Н}$$

$$A_1 = 0,001 \text{ м}$$

$$A_2 = 0,0002 \text{ м}$$

$$\omega_1 = 376,8 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_2 = 659,4 \text{ с}^{-1}$$

Коефіцієнт втрат у бетонній суміші приймаємо: $\psi=0,18$

Коефіцієнт запасу: $k_3=1,25$

ККД привода: $\eta=0,88$

Потужність, необхідна для роботи вібропривода:

$$N = \frac{k_3 \cdot \psi \cdot (F_1 A_1 \omega_1 + F_2 A_2 \omega_2)}{1000 \cdot \eta}$$

Підставляємо значення:

$$N = \frac{1,25 \cdot 0,18 \cdot (37340 \cdot 0,001 \cdot 376,8 + 22870 \cdot 0,0002 \cdot 659,4)}{1000 \cdot 0,88}$$

$$N = \frac{1,25 \cdot 0,18 \cdot (14070 + 3015)}{880}$$

$$N = 4,37 \text{ кВт}$$

З урахуванням пускових перевантажень, нерівномірності ущільнення суміші та роботи в умовах вібраційних навантажень приймаємо електродвигун із запасом: $N_{\text{дв}} = 5,5 \text{ кВт}$

Приймаємо асинхронний електродвигун АІР 100 L2 - N = 5,5 кВт,
 $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

2.2.5 Орієнтовне визначення діаметрів валів віброзбудника

Під час роботи віброзбудника вали сприймають динамічні навантаження від дебалансних мас. Оскільки згинальні моменти від дії збуджувальних сил є значно більшими за крутні моменти, під час попереднього розрахунку як еквівалентний момент приймаємо максимальний згинальний момент.

Для низькочастотного віброзбудника: $F_1 = 37340 \text{ Н}$

Приймаємо, що навантаження розподіляється на два вали:

$$F_{\text{в1}} = \frac{F_1}{2} = \frac{37340}{2} = 18670 \text{ Н}$$

Відстань між опорами приймаємо:

$$l_1 = 0,12 \text{ м}$$

Максимальний згинальний момент:

$$M_1 = \frac{F_{\text{в1}} \cdot l_1}{4}$$
$$M_1 = \frac{18670 \cdot 0,12}{4} = 560 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допустиме напруження для сталі приймаємо: $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$

Мінімальний діаметр вала:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{32M_1}{\pi[\sigma]}}$$
$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 560}{3,14 \cdot 60 \cdot 10^6}}$$
$$d_1 = 0,0456 \text{ м} = 45,6 \text{ мм}$$

Приймаємо конструктивно: $d_1 = 50$ мм

Для високочастотного віброзбудника:

$$F_2 = 22870 \text{ Н}$$

$$F_{B2} = \frac{22870}{2} = 11435 \text{ Н}$$

Приймаємо:

$$l_2 = 0,10 \text{ м}$$

$$M_2 = \frac{F_{B2} \cdot l_2}{4}$$

$$M_2 = \frac{11435 \cdot 0,10}{4} = 286 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 286}{3,14 \cdot 60 \cdot 10^6}}$$

$$d_2 = 0,0365 \text{ м} = 36,5 \text{ мм}$$

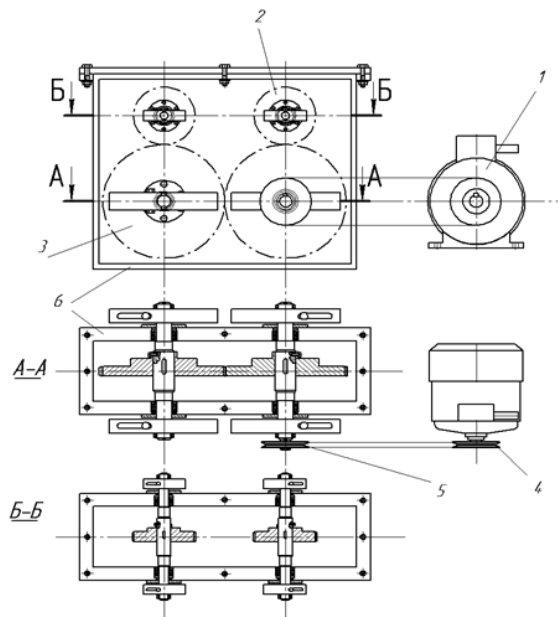
Приймаємо конструктивно: $d_2 = 40$ мм

Отже, для модернізованого вібропривода приймаємо:

діаметр вала низькочастотного віброзбудника - 50 мм;

діаметр вала високочастотного віброзбудника - 40 мм.

2.2.6 Розрахунок клинопасової передачі



2.13 – Двочастотний збудник вібрації з клинопасовою передачею]

Вихідні дані для розрахунку: $P_1=5,5$ кВт, $n_1=2850$ хв⁻¹, $u=1$

Для передачі потужності обираємо клинові паси нормального перерізу Б, оскільки після модернізації потужність двигуна збільшена порівняно з базовим варіантом.

Приймаємо діаметр ведучого шківів:

$$d_1=125 \text{ мм}$$

Оскільки передаточне число дорівнює одиниці:

$$d_2 = d_1 \cdot u = 125 \cdot 1 = 125 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань: $a = 450$ мм

Розрахункова довжина паса:

$$\begin{aligned} L &= 2a + \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2} \\ L &= 2 \cdot 450 + \frac{3,14(125 + 125)}{2} \\ L &= 900 + 392,5 = 1292,5 \text{ мм} \end{aligned}$$

За стандартним рядом приймаємо: $L=1320$ мм

Швидкість руху паса:

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 1000} \\ v &= \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 2850}{60 \cdot 1000} \\ v &= 18,6 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Частота пробігів паса:

$$\begin{aligned} i &= \frac{v}{L} \\ i &= \frac{18,6}{1,32} = 14,1 \text{ с}^{-1} \end{aligned}$$

Умова роботи паса виконується, оскільки отримане значення не перевищує допустимого.

Допустима потужність, що передається одним пасом:

$$P_{\text{пас}} = P_0 \cdot C_p \cdot C_l \cdot C_\alpha \cdot C_z$$

Приймаємо:

$$P_0 = 4,0 \text{ кВт}, C_p = 0,9, C_l = 0,95, C_\alpha = 1, C_z = 0,95$$

$$P_{\text{пас}} = 4,0 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95 = 3,25 \text{ кВт}$$

Необхідна кількість пасів:

$$z = \frac{P_1}{P_{\text{пас}}}$$

$$z = \frac{5,5}{3,25} = 1,69$$

Приймаємо: $z = 2$ паси

Отже, для привода модернізованого вібропреса приймається клинопасова передача з двома пасами перерізу Б, діаметрами шківів 125 мм та довжиною паса 1320 мм.

2.2.7 Розрахунок циліндричної прямозубої передачі

Для передачі обертального руху між валами віброзбудника застосовується циліндрична прямозуба передача. Приймаємо ступінь точності зубчастих коліс: 8, матеріал коліс - сталь 40ХН з термічною обробкою покращенням.

Приймаємо для проєктного розрахунку наступні параметри

$$[\sigma]_H = 835 \text{ МПа}; [\sigma]_F = 230 \text{ МПа}$$

$$\text{Міжосьова відстань: } a_w = 280 \text{ мм}$$

$$\text{Модуль зачеплення: } m = 4 \text{ мм}$$

Кількість зубців основного колеса:

$$z = \frac{d}{m}$$

$$z = \frac{280}{4} = 70$$

Діаметр кола виступів:

$$d_a = d + 2m d$$

$$d_a = 280 + 2 \cdot 4 = 288 \text{ мм}$$

Діаметр кола западин:

$$d_f = d - 2,5m$$

$$d_f = 280 - 2,5 \cdot 4 = 270 \text{ мм}$$

Товщина зуба по постійній хорді:

$$s = 1,387m$$

$$s = 1,387 \cdot 4 = 5,55 \text{ мм}$$

Висота головки зуба:

$$h_a = 0,748m$$

$$h_a = 0,748 \cdot 4 = 2,99 \text{ мм}$$

Крутний момент на валу:

$$T = \frac{9550P}{n}$$

$$T = \frac{9550 \cdot 5,5}{2850}$$

$$T = 18,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Колова сила в зачепленні:

$$F_t = \frac{2T}{d}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 18,43}{0,28}$$

$$F_t = 131,6 \text{ Н}$$

Контактне напруження:

$$\sigma_H \approx 76 \text{ МПа}, \sigma_H < [\sigma]_H = 835 \text{ МПа}$$

Умова контактної міцності виконується.

Напруження згинання зубців:

$$\sigma_F \approx 8,4 \text{ МПа}, \sigma_F < [\sigma]_F = 230 \text{ МПа}$$

Умова міцності зубців на згинання також виконується.

Для додаткових високочастотних коліс приймаємо:

$$m = 4 \text{ мм}, z = 47$$

Ділильний діаметр: $d = mz$,

$$d = 4 \cdot 47 = 188 \text{ мм}$$

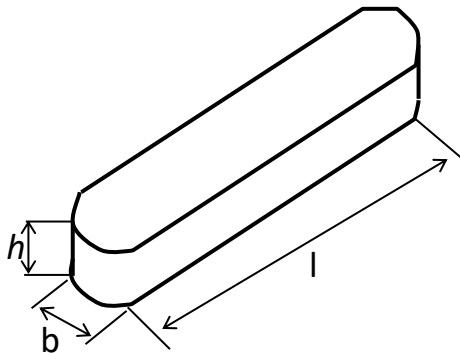
Діаметр кола виступів: $d_a = 188 + 2 \cdot 4 = 196 \text{ мм}$

Діаметр кола западин: $d_f = 188 - 2,5 \cdot 4 = 178 \text{ мм}$

Отримані параметри забезпечують можливість роботи високочастотного ступеня вібропривода в заданому режимі.

2.2.8 Розрахунок шпонкових з'єднань

Для з'єднання шківів і зубчастих коліс із валами застосовуються призматичні шпонки.



2.14 – Призматична шпонка

Для вала діаметром:

$$d = 40 \text{ мм}$$

приймаємо шпонку: $b = 12 \text{ мм}$, $h = 8 \text{ мм}$

Глибина паза у валу: $t = 5 \text{ мм}$

Глибина паза у втулці: $t_1 = 3,3 \text{ мм}$

Приймаємо довжину шпонки: $l = 45 \text{ мм}$

Сила, що діє на шпонку:

$$F = \frac{2T}{d}$$

$$F = \frac{2 \cdot 18,43}{0,04}$$

$$F = 921,5 \text{ Н}$$

Перевірка на зминання:

$$\sigma_{3M} = \frac{F}{l(h - t_1)}$$

$$\sigma_{3M} = \frac{921,5}{45 \cdot (8 - 3,3)}$$

$$\sigma_{3M} = 4,36 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження зминання:

$$[\sigma]_{3M} = 100 \text{ МПа}$$

$$4,36 < 100 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Остаточно приймаємо: $b = 12 \text{ мм}$, $h = 8 \text{ мм}$, $l = 45 \text{ мм}$

Таким чином, обране шпонкове з'єднання забезпечує передачу крутного моменту від вала до елементів вібропривода з достатнім запасом міцності.

Спеціальна частина

3.1 Характеристика об'єкта управління

У даній випускній кваліфікаційній роботі розглядається технологічна лінія з виробництва дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування. Об'єктом управління є комплекс обладнання, який забезпечує приймання, дозування, змішування компонентів бетонної суміші, її подачу до вібропреса, формування виробів, транспортування та складування готової продукції.

Для виготовлення бетонної суміші застосовують портландцемент загальнобудівельного призначення або цемент для дорожніх і аеродромних покриттів класу не нижче СЕМ І 42,5. До цементу висуваються вимоги щодо стабільності міцності, строків тужавіння, тонкості помелу та хімічного складу. Особливу увагу приділяють вмісту оксиду магнію та трикальцієвого алюмінату, оскільки ці компоненти впливають на довговічність і тріщиностійкість бетонних виробів.

Як дрібний заповнювач використовують природний або збагачений пісок із модулем крупності не менше 2,2. Якість піску має забезпечувати однорідність бетонної суміші, достатню щільність структури та стабільність формування виробів у прес-формі.

Крупним заповнювачем для виробництва дрібноштучних бетонних виробів може бути гранітний щебінь, гравій або відсів дроблення. Найбільший розмір зерен заповнювача обирають залежно від товщини виробу та конструкції формувальної оснастки. Для тротуарної плитки доцільно використовувати дрібнофракційний щебінь або відсів, що забезпечує щільне укладання частинок у матриці.

У виробництві тротуарної плитки найбільш поширеними є два способи формування: вібролиття та вібропресування. Метод вібролиття передбачає використання рухомих бетонних сумішей і ущільнення у формах на вібростолі. Вібропресування, на відміну від нього, здійснюється із

застосуванням жорстких сумішей з низьким водоцементним відношенням, які ущільнюються одночасною дією тиску та вібрації.

За результатами аналізу технологій для даної роботи обрано метод вібраційного пресування, оскільки він забезпечує високу продуктивність, можливість автоматизації процесу, стабільну геометрію виробів і підвищені фізико-механічні характеристики готової продукції.

3. 2 Опис технологічної лінії виробництва тротуарної плитки методом вібропресування

Технологічна лінія виробництва дрібноштучних бетонних виробів включає комплекс послідовно розташованих машин і механізмів, які забезпечують повний цикл виготовлення продукції — від подачі сировини до складування готових виробів.

Сировинні матеріали зберігаються у відповідних складських зонах. Цемент надходить на підприємство автотранспортом і зберігається у силосі. Пісок та щебінь розміщуються у відкритих або закритих бункерах заповнювачів. За необхідності матеріали подаються до витратних бункерів за допомогою навантажувача або конвеєрного обладнання.

Дозування компонентів бетонної суміші здійснюється автоматизовано. Пісок, щебінь, цемент і вода подаються у бетонозмішувач у заданих кількостях відповідно до рецептури. Точність дозування має важливе значення, оскільки від співвідношення компонентів залежать міцність, морозостійкість і водопоглинання готових виробів.

Після завершення процесу перемішування готова бетонна суміш подається до приймального бункера вібропреса. У формувальній зоні суміш рівномірно розподіляється по порожнинах матриці, після чого відбувається ущільнення за рахунок сумісної дії вібрації та пресувального зусилля.

Відформовані вироби разом із піддонами переміщуються до зони накопичення. Далі вони транспортуються на склад природного або прискореного тверднення. Після набору необхідної міцності вироби

- система автоматичного контролю рівня цементу в силосі;
- система керування подачею цементу до витратного бункера;
- система контролю рівня цементу у витратному бункері;
- система керування дозуванням цементу в бетонозмішувач;
- система контролю рівня піску та щебеню в бункерах;
- система керування подачею заповнювачів у змішувач;
- система контролю рівня води у резервуарі;
- система дозування води;
- система керування роботою бетонозмішувача;
- система керування швидкістю конвеєра;
- система контролю тиску в гідросистемі вібропреса;
- система керування двочастотним віброприводом;
- система контролю положення матриці, пуансона та піддона;
- система аварійного вимкнення обладнання.

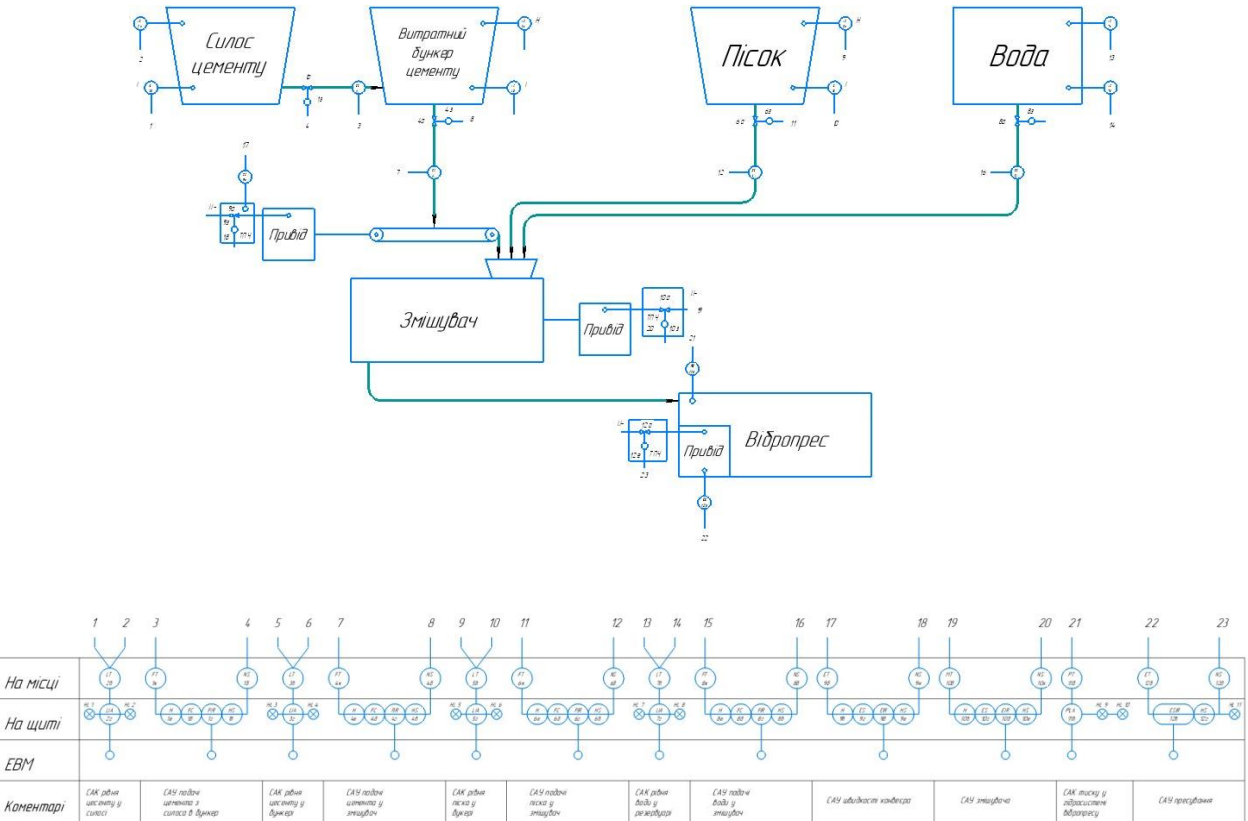
Особливу увагу в модернізованій лінії необхідно приділити керуванню віброприводом, оскільки саме режим вібрації визначає якість ущільнення бетонної суміші. Для запропонованого двочастотного привода доцільно передбачити два режими роботи: низькочастотний для попереднього розподілу суміші та високочастотний для остаточного ущільнення.

Управління вібропресом виконується за допомогою програмованого логічного контролера. Контролер отримує сигнали від датчиків положення, тиску, рівня матеріалів, частоти обертання та стану виконавчих механізмів. На основі цих сигналів формується послідовність команд для електродвигунів, гідроциліндрів, дозаторів і конвеєрів.

3.3.1 Вибір технічних засобів системи автоматизованого керування

Для реалізації автоматизованої системи керування технологічною лінією виробництва дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування пропонується використання сучасних програмно-технічних засобів промислової автоматизації. Система повинна забезпечувати

автоматичне виконання технологічних операцій, контроль параметрів роботи обладнання та оперативне відображення інформації оператору.



3.2 – Структурна схема системи автоматизованого керування технологічною лінією]

Основним керуючим пристроєм системи є програмований логічний контролер.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики програмованого логічного контролера

Параметр	Значення
Модель	Siemens S7-1200 CPU 1214C
Напруга живлення	24 В DC
Дискретні входи	14
Дискретні виходи	10
Аналогові входи	2

Параметр	Значення
Інтерфейс зв'язку	PROFINET
Робоча температура	від -20 до +60 °C
Ступінь захисту	IP20

Контролер забезпечує обробку сигналів від датчиків та формування команд керування виконавчими механізмами технологічної лінії.

Для візуалізації технологічного процесу та введення команд оператором використовується сенсорна панель керування.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики операторської панелі

Параметр	Значення
Модель	Siemens KTP700 Basic
Діагональ екрана	7 дюймів
Тип дисплея	TFT
Роздільна здатність	800×480
Напруга живлення	24 В DC
Інтерфейс зв'язку	Ethernet, PROFINET
Ступінь захисту фронтальної панелі	IP65

Панель забезпечує відображення параметрів роботи обладнання, сигналізацію аварійних режимів та налаштування технологічних параметрів.

Для реалізації двочастотного режиму роботи вібропреса використовується частотний перетворювач.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики частотного перетворювача

Параметр	Значення
Модель	Schneider Electric Altivar ATV320

Параметр	Значення
Потужність двигуна	до 7,5 кВт
Вхідна напруга	380 В
Частота вихідного сигналу	0–500 Гц
Спосіб керування	V/F, Vector Control
Інтерфейси	Modbus RTU, CANopen
Ступінь захисту	IP20

Використання частотного перетворювача дозволяє реалізувати плавне регулювання частоти коливань та швидке перемикання між режимами ущільнення бетонної суміші.

Для забезпечення стабільної роботи обладнання передбачено встановлення комплексу датчиків.

Таблиця 3.4 – Датчики системи автоматизації

Найменування	Модель	Призначення
Датчик рівня цементу	Siemens Pointek CLS200	Контроль рівня матеріалу у силосі
Датчик рівня заповнювачів	IFM LK7023	Контроль рівня піску та щебеню
Датчик тиску	Danfoss MBS 3000	Контроль тиску в гідросистемі
Індуктивний датчик	IFM IFS204	Контроль положення матриці
Енкодер	Omron E6B2- CWZ6C	Контроль частоти обертання вібропривода
Датчик температури	WIKA TR10	Контроль температури підшипників

Основні виконавчі механізми технологічної лінії наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Виконавчі механізми технологічної лінії

Найменування	Кількість	Основні характеристики
Електродвигун вібропривода	1	5,5 кВт, 3000 хв ⁻¹
Електродвигун змішувача	1	15 кВт
Електродвигун конвеєра	2	2,2 кВт
Гідростанція преса	1	7,5 кВт
Гідроциліндри пресування	2	Ø80 мм
Електромагнітні клапани	6	24 В DC

Для обміну інформацією між компонентами системи автоматизації використовується мережа PROFINET.

Таблиця 3.6 – Основні параметри мережі PROFINET

Параметр	Значення
Швидкість передачі даних	до 100 Мбіт/с
Тип кабелю	Industrial Ethernet
Топологія	Зірка
Максимальна довжина сегмента	100 м
Протокол обміну	TCP/IP, PROFINET

Застосування сучасних засобів автоматизації забезпечує стабільну роботу технологічної лінії, дозволяє реалізувати двочастотний режим роботи вібропреса, підвищити продуктивність до 36 м²/год та зменшити вплив людського фактора на якість готової продукції.

**Охорона праці та безпека
експлуатації обладнання вібропресової
лінії**

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при виготовленні дрібноштучних бетонних виробів методом вібропресування

Безпечна організація виробничого процесу є однією з основних умов стабільної роботи підприємств будівельної індустрії. При експлуатації обладнання для виготовлення тротуарної плитки та інших дрібноштучних бетонних виробів працівники піддаються впливу комплексу шкідливих і небезпечних факторів, які можуть негативно впливати на їх здоров'я, працездатність та безпеку виробництва.

Під охороною праці розуміють систему організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних, соціально-економічних та правових заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, попередження виробничого травматизму та професійних захворювань.

Об'єктом дослідження є технологічна лінія з виготовлення тротуарної плитки методом вібраційного пресування, до складу якої входять бетонозмішувальне обладнання, транспортні пристрої, вібропрес, системи подачі сировини, штабелювання та складування готової продукції.

В процесі роботи обладнання на персонал можуть впливати такі виробничі фактори:

- підвищена концентрація цементного пилу в повітрі робочої зони;
- підвищені рівні шуму від роботи змішувачів, компресорів та вібропресового обладнання;
- технологічна вібрація, що виникає під час роботи вібропреса;
- рухомі частини машин та механізмів;
- електричний струм при експлуатації електрообладнання;
- несприятливі параметри мікроклімату виробничих приміщень;
- можливість виникнення пожежі внаслідок коротких замикань або порушення правил експлуатації обладнання.

Для оцінювання стану виробничого середовища було проведено аналіз основних санітарно-гігієнічних показників, результати якого наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка параметрів виробничого середовища

Показник	Фактичне значення	Нормативне значення	Відповідність
Рівень шуму, дБА	90	до 80	не відповідає
Освітленість робочої зони, лк	200	не менше 200	відповідає
Концентрація пилу, мг/м ³	6	до 10	відповідає
Температура повітря в холодний період, °С	20	16–22	відповідає
Відносна вологість повітря, %	70	40–60	не відповідає
Швидкість руху повітря, м/с	0,17	0,1–0,2	відповідає

Аналіз наведених показників свідчить, що найбільш проблемними факторами є підвищений рівень шуму та перевищення нормативної вологості повітря. Саме ці фактори потребують розроблення додаткових організаційних і технічних заходів щодо забезпечення безпечних умов праці.

Під час експлуатації вібропреса особливу увагу необхідно приділяти безпеці персоналу, який працює безпосередньо біля формувального обладнання. Робочі місця повинні бути обладнані огороженнями рухомих механізмів, системами аварійного вимкнення та попереджувальною сигналізацією.

Крім того, на підприємстві повинна функціонувати система виробничого контролю за станом умов праці, яка передбачає періодичні

вимірювання рівнів шуму, концентрації пилу, параметрів мікроклімату та освітленості відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Проведений аналіз показує, що впровадження сучасного вібропресового обладнання з автоматизованою системою керування дозволяє суттєво зменшити вплив людського фактора, підвищити рівень безпеки праці та забезпечити стабільні умови експлуатації технологічної лінії.

4.2 Пил та заходи щодо зниження запиленості повітря робочої зони

Одним із найбільш характерних шкідливих факторів при виробництві тротуарної плитки методом вібропресування є утворення пилу. Пилові викиди виникають практично на всіх стадіях технологічного процесу: під час приймання та зберігання цементу, транспортування сипких матеріалів, дозування компонентів бетонної суміші, їх змішування, а також під час очищення технологічного обладнання та виробничих приміщень.

Найбільшу небезпеку для працівників становить цементний пил, частинки якого мають незначні розміри та здатні тривалий час перебувати у завислому стані. При потрапленні в органи дихання цементний пил може викликати подразнення слизових оболонок, захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні реакції та професійні захворювання легенів.

Основними джерелами утворення пилу на виробництві є:

- вузли розвантаження цементу;
- силоси для зберігання в'язучих матеріалів;
- стрічкові та гвинтові конвеєри;
- дозувальні пристрої;
- бетонозмішувачі;
- ділянки очищення форм та обладнання;
- місця накопичення виробничих відходів.

Відповідно до санітарно-гігієнічних вимог концентрація пилу в робочій зоні не повинна перевищувати встановлених гранично допустимих значень. Для цементного пилу та більшості мінеральних аерозолів, що утворюються

при виробництві бетонних виробів, встановлюється четвертий клас небезпеки із допустимою концентрацією до 10 мг/м³ повітря робочої зони.

Особливу увагу необхідно приділяти підготовці прес-форм до роботи. Після завершення технологічного циклу на поверхнях форм залишаються залишки бетонної суміші, які необхідно видаляти перед початком наступного циклу формування. Для цього застосовують механічне очищення, промивання та нанесення спеціальних розділювальних мастил. У деяких випадках використовуються слабкі кислотні розчини для видалення цементних нашарувань, тому персонал повинен працювати із застосуванням засобів індивідуального захисту.

Для зменшення запиленості виробничих приміщень рекомендується впроваджувати комплекс технічних та організаційних заходів.

До технічних заходів належать:

- герметизація транспортних комунікацій для цементу та мінеральних добавок;
- використання закритих бункерів і дозаторів;
- обладнання місць пересипання матеріалів аспіраційними системами;
- встановлення локальних витяжних пристроїв над бетонозмішувачами;
- використання рукавних або картриджних фільтрів для очищення повітря;
- регулярне вологе прибирання виробничих приміщень.

До організаційних заходів належать:

- контроль концентрації пилу в робочій зоні;
- проведення інструктажів з безпечного поводження із сипкими матеріалами;
- обмеження часу перебування персоналу в найбільш заплених зонах;
- своєчасне очищення обладнання від накопичених відкладень.

Важливим елементом захисту працівників є застосування індивідуальних засобів захисту органів дихання. Для роботи в умовах підвищеної запиленості рекомендується використовувати фільтрувальні напівмаски класу захисту FFP2 або FFP3, які забезпечують ефективне затримання дрібнодисперсних частинок цементного пилу.

Таблиця 4.2 – Засоби індивідуального захисту від пилу

Найменування	Призначення	Ефективність
Респіратор FFP2	Захист від цементного пилу	до 94 %
Респіратор FFP3	Захист від дрібнодисперсних аерозолів	до 99 %
Захисні окуляри	Захист органів зору	високий рівень
Спецодяг	Захист шкіри та одягу	середній рівень
Захисні рукавиці	Захист рук від контакту з цементом	високий рівень

Застосування перелічених технічних рішень дозволяє підтримувати концентрацію пилу в межах допустимих значень, покращує санітарно-гігієнічні умови праці та сприяє зниженню ризику виникнення професійних захворювань у працівників вібропресового виробництва.

4.3 Шум і вібрація під час експлуатації вібропресового обладнання

Під час виробництва дрібноштучних бетонних виробів методом вібропресування одними з найбільш характерних шкідливих виробничих факторів є підвищені рівні шуму та технологічної вібрації. Джерелами їх виникнення є вібропрес, бетонозмішувачі, компресорне обладнання, транспортні механізми, електродвигуни та приводи конвеєрів. Тривалий вплив цих факторів негативно впливає на стан здоров'я працівників, знижує працездатність та може стати причиною розвитку професійних захворювань.

Особливо значні рівні шуму створюються в зоні роботи вібропреса, де відбувається ущільнення бетонної суміші під дією високочастотних

механічних коливань. Додатковими джерелами шуму є удари формувальної оснастки, робота гідравлічної системи, переміщення піддонів та функціонування систем подачі бетонної суміші.

Згідно з чинними санітарними нормами, допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях виробничих приміщень не повинен перевищувати 80 дБА. Практичні вимірювання на підприємствах із виробництва тротуарної плитки показують, що поблизу вібропресів рівень шуму може досягати 85–95 дБА, а в окремих випадках перевищувати 100 дБА.

Тривалий вплив шуму призводить до:

- погіршення слуху;
- підвищеної втомлюваності працівників;
- зниження концентрації уваги;
- підвищення ризику виробничого травматизму;
- порушення роботи серцево-судинної системи;
- виникнення професійної приглухуватості.

Таблиця 4.3 – Характеристика джерел шуму на виробництві

Джерело шуму	Рівень шуму, дБА
Бетонозмішувач	80–85
Стрічковий конвеєр	75–80
Компресорна установка	85–90
Вібропрес	90–95
Гідравлічна станція	80–85
Навантажувач	85–95

Вібрація на підприємстві виникає внаслідок роботи дебалансних віброзбуджувачів, що входять до складу вібропресового обладнання. Під час роботи вібропреса коливання передаються через конструкцію машини на фундамент, виробничу підлогу та робочі місця операторів.

Залежно від способу передачі розрізняють:

- загальну вібрацію, яка передається через підлогу або робочий майданчик;
- локальну вібрацію, що впливає безпосередньо на руки працівника через органи керування або інструмент.

В умовах вібропресового виробництва переважає загальна технологічна вібрація.

Для оцінки шумового навантаження використовується еквівалентний рівень шуму:

Для оцінки шумового навантаження використовується еквівалентний рівень шуму:

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

де:

I – інтенсивність звуку, Вт/м²;

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – порогове значення інтенсивності звуку.

Для виробничого приміщення з вібропресом приймаємо:

$$L = 92 \text{ дБА}$$

Отримане значення перевищує допустимий рівень на:

$$\Delta L = 92 - 80 = 12 \text{ дБА}$$

Таким чином, необхідне впровадження комплексу заходів щодо зниження шумового навантаження.

Для зменшення рівня шуму рекомендується:

- встановлення звукоізолюючих кожухів на компресорному обладнанні;
- застосування шумопоглинальних панелей на стінах і стелі виробничих приміщень;
- використання вібропресів із частотним регулюванням приводів;
- винесення компресорних установок до окремих приміщень;
- регулярне технічне обслуговування механізмів.

Для боротьби з вібрацією використовуються такі технічні рішення:

- встановлення вібропреса на окремий фундамент;
- застосування гумометалевих амортизаторів;
- використання пружних віброізолюючих прокладок;
- балансування обертових елементів віброзбуджувачів;
- використання модернізованого двочастотного вібропривода, розробленого в даній роботі.

Таблиця 4.4 – Засоби боротьби з шумом і вібрацією

Захід	Очікуване зниження
Акустичні панелі	5–8 дБ
Шумозахисні кожухи	10–15 дБ
Вібродемпфувальні прокладки	25–40 %
Балансування дебалансів	15–20 %
Частотне регулювання привода	10–15 %
Амортизований фундамент	20–30 %

Працівники, які обслуговують вібропресове обладнання, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту:

- протишумовими навушниками;
- шумозахисними вкладишами;
- віброзахисними рукавицями;
- спеціальним взуттям із демпфувальною підошвою.

Таблиця 4.5 – Засоби індивідуального захисту від шуму та вібрації

Засіб захисту	Характеристика
Навушники 3М Peltor Optime III	Зниження шуму до 35 дБ
Вкладиші 3М E-A-R	Зниження шуму до 28 дБ
Віброзахисні рукавиці	Зменшення передачі вібрації на 20–30 %
Спецвзуття з поліуретановою підошвою	Часткове поглинання коливань

Проведений аналіз показує, що найбільш ефективним способом зменшення негативного впливу шуму та вібрації є поєднання конструктивних заходів, спрямованих на вдосконалення вібропресового обладнання, із використанням сучасних засобів колективного та індивідуального захисту. Запропонований у роботі двочастотний вібропривід дозволяє не лише підвищити продуктивність формування виробів, але й знизити динамічні навантаження на конструкцію машини, що позитивно впливає на умови праці персоналу.

4.4 Електробезпека та розрахунок захисного заземлення вібропресової установки

Електрична енергія є основним джерелом живлення технологічного обладнання лінії виробництва тротуарної плитки методом вібропресування. До складу виробничого комплексу входять електродвигуни вібропривода, бетонозмішувача, конвеєрів, гідростанції, компресорного обладнання та автоматизованої системи керування. У зв'язку з цим питання електробезпеки є одним із найважливіших при організації безпечної експлуатації обладнання.

Основними причинами ураження працівників електричним струмом можуть бути:

- пошкодження ізоляції електрообладнання;

- поява напруги на металевих частинах машин;
- несправність заземлювального пристрою;
- порушення правил технічної експлуатації;
- виконання ремонтних робіт без відключення обладнання від мережі;

- вплив підвищеної вологості та цементного пилу.

Виробничі приміщення підприємств з виготовлення бетонних виробів належать до приміщень із підвищеною небезпекою, оскільки характеризуються наявністю струмопровідного пилу, металевих конструкцій та підвищеної вологості.

Для забезпечення безпечної роботи обладнання передбачаються такі заходи:

- захисне заземлення металевих корпусів обладнання;
- автоматичне відключення живлення при аварійних режимах;
- застосування пристроїв захисного вимкнення;
- використання ізольованих кабельних ліній;
- періодичний контроль стану ізоляції.

4.4.1 Розрахунок захисного заземлення вібропреса

Для модернізованої технологічної лінії приймаємо сумарну встановлену потужність основного обладнання:

Таблиця 4.6 – Основні електроспоживачі лінії

Обладнання	Потужність, кВт
Вібропривід преса	11
Гідростанція	7,5
Бетонозмішувач	15
Конвеєрна система	4
Компресор	5,5

Обладнання	Потужність, кВт
Система автоматизації	1
Разом	44 кВт

Для живлення обладнання використовується трифазна мережа напругою: $U=380\text{В}$

Коефіцієнт потужності приймаємо: $\cos\varphi=0,85$

Розрахунковий струм навантаження:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

Підставляючи значення:

$$I = \frac{44000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85}$$

$$I = 78,7\text{А}$$

Отже, розрахунковий струм технологічної лінії становить: $I = 79\text{ А}$

Для мереж напругою до 1000 В нормативний опір захисного заземлення повинен бути:

$$R_z \leq 4\text{Ом}$$

4.4.2 Визначення опору одиночного заземлювача

Для проєктування заземлювального контуру приймаємо:

- матеріал електродів – сталь;
- діаметр електрода: $d=16\text{мм}$
- довжина електрода: $L=3\text{м}$
- питомий опір ґрунту для суглинків: $\rho = 100\text{ Ом}\cdot\text{м}$

Опір одного вертикального заземлювача визначається за залежністю:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) - 1 \right]$$

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$R_1 = 28,5\text{Ом}$$

7.4.3 Визначення кількості електродів

З урахуванням коефіцієнта використання вертикальних електродів

$$\eta = 0,75$$

необхідна кількість електродів становить:

$$n = \frac{R_1}{R_3 \cdot \eta}$$
$$n = \frac{28,5}{4 \cdot 0,75}$$
$$n = 9,5$$

Приймаємо: $n = 10$ електродів

4.4.4 Конструкція заземлювального пристрою

Для захисту технологічної лінії пропонується застосувати контурне заземлення, яке складається з вертикальних електродів, з'єднаних сталевією смугою.

Основні параметри контуру:

Таблиця 4.7 – Параметри заземлювального пристрою

Показник	Значення
Кількість електродів	10
Довжина електрода	3 м
Діаметр електрода	16 мм
Матеріал	сталь
Розмір з'єднувальної смуги	40×4 мм
Глибина прокладання смуги	0,7 м
Розрахунковий опір контуру	3,6 Ом

[Місце для рисунка 7.7 – Схема заземлювального контуру вібропресової установки]

Отримане значення опору заземлювального пристрою: $R_3 = 3,6 \text{ Ом}$ є меншим за нормативне значення: $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$, що свідчить про відповідність проєктованої системи вимогам електробезпеки.

4.4.5 Засоби електрозахисту персоналу

Для безпечної експлуатації вібропресової лінії необхідно використовувати такі засоби захисту:

- діелектричні рукавички;
- діелектричне взуття;
- ізолювальні килимки;
- покажчики напруги;
- переносні заземлення;
- інструмент з ізольованими рукоятками.

Таблиця 4.8 – Основні засоби електрозахисту

Засіб захисту	Призначення
Діелектричні рукавички	Захист від дотику до струмоведучих частин
Діелектричне взуття	Захист від крокової напруги
Ізолювальний килимок	Захист під час обслуговування електрообладнання
Покажчик напруги	Контроль відсутності напруги
Переносне заземлення	Захист ремонтного персоналу

7.5 Розрахунок виробничого освітлення

Рациональне освітлення виробничих приміщень є важливою умовою безпечної та ефективної роботи персоналу. Недостатній рівень освітленості у

зоні експлуатації вібропресового обладнання може призвести до підвищення втомлюваності працівників, зниження точності виконання операцій, збільшення кількості помилок та ризику травмування.

У виробничому приміщенні лінії виготовлення тротуарної плитки необхідно забезпечити освітленість робочої зони не менше: $E_n = 200$ лк

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

Таблиця 4.9 – Вихідні дані для розрахунку освітлення

Показник	Позначення	Значення
Довжина приміщення	A	60 м
Ширина приміщення	B	18 м
Площа приміщення	S	1080 м ²
Нормована освітленість	E_n	200 лк
Коефіцієнт запасу	K_z	1,5
Коефіцієнт нерівномірності	Z	1,1
Коефіцієнт використання світлового потоку	η	0,55
Світловий потік одного LED-світильника	$\Phi_{\text{л}}$	12000 лм

Площа приміщення визначається:

$$S = A \cdot B$$

$$S = 60 \cdot 18 = 1080 \text{ м}^2$$

Кількість світильників визначаємо методом світлового потоку:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta}$$

Підставляємо значення:

$$N = \frac{200 \cdot 1080 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12000 \cdot 0,55}$$

$$N = \frac{356400}{6600}$$

$$N = 54$$

Приймаємо: N = 54 світильники

Для освітлення цеху приймаємо LED-світильники промислового типу потужністю 100 Вт зі світловим потоком 12000 лм.

Загальна потужність системи освітлення:

$$P_{\Sigma} = N \cdot P_1$$

$$P_{\Sigma} = 5,4 \text{ кВт}$$

Для рівномірного освітлення виробничого приміщення світильники доцільно розмістити у 6 рядів по 9 світильників.

Таблиця 4.10 – Прийняті параметри системи освітлення

Показник	Значення
Тип світильників	LED промислові
Кількість світильників	54 шт
Потужність одного світильника	100 Вт
Світловий потік одного світильника	12000 лм
Загальна встановлена потужність	5,4 кВт
Схема розміщення	6×9

Таким чином, прийнята система освітлення забезпечує нормативну освітленість робочої зони на рівні не менше 200 лк та створює безпечні умови для експлуатації вібропресового обладнання.

7.6 Мікроклімат виробничого приміщення

Мікроклімат виробничого приміщення визначається сукупністю параметрів повітряного середовища, до яких належать температура, відносна

вологість, швидкість руху повітря та теплове випромінювання від обладнання. Ці фактори безпосередньо впливають на самопочуття працівників, рівень працездатності та безпеку виконання технологічних операцій.

Виробництво тротуарної плитки методом вібропресування належить до робіт середньої важкості, оскільки працівники виконують операції, пов'язані з переміщенням, контролем і обслуговуванням обладнання. Категорію робіт приймаємо: Пб

Для цієї категорії робіт рекомендовані параметри мікроклімату наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Нормативні параметри мікроклімату

Показник	Холодний	Теплий
	період	період
Температура повітря, °C	17–19	20–22
Відносна вологість, %	40–60	40–60
Швидкість руху повітря, м/с	до 0,3	до 0,4

Фактичні параметри виробничого приміщення:

$$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}, c_v = 0,17\text{ м/с}$$

Температура повітря та швидкість його руху перебувають у допустимих межах. Разом із тим відносна вологість перевищує рекомендоване значення:

$$70\% > 60\%$$

Отже, необхідно передбачити заходи щодо зниження вологості повітря.

Для нормалізації параметрів мікроклімату рекомендується:

- застосування припливно-витяжної вентиляції;
- відведення вологого повітря із зон тверднення виробів;
- теплоізоляція сушильних камер;
- контроль температури та вологості за допомогою датчиків;

- автоматичне регулювання роботи вентиляційної системи.

Таблиця 4.12 – Заходи щодо нормалізації мікроклімату

Проблемний фактор	Захід
Підвищена вологість	Посилення витяжної вентиляції
Перепади температури	Автоматичне регулювання опалення
Локальний перегрів	Теплоізоляція сушильних камер
Застій повітря	Організація припливної вентиляції
Впровадження зазначених заходів дозволяє забезпечити стабільні параметри мікроклімату та покращити умови праці персоналу.	

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі на тему **«Обладнання формування дрібноштучних бетонних виробів методом вібраційного пресування»** було розглянуто питання підвищення ефективності роботи вібропресового обладнання для виробництва тротуарної плитки та інших дрібноштучних бетонних виробів.

У процесі виконання роботи отримано такі результати:

1. Проведено аналіз сучасних способів виготовлення дрібноштучних бетонних виробів та обґрунтовано доцільність застосування методу вібраційного пресування.
2. Розглянуто основні види сировинних матеріалів для виробництва тротуарної плитки, їх характеристики та вплив на якість готової продукції.
3. Виконано аналіз існуючих конструкцій вібропресового обладнання та технологічних ліній для формування бетонних виробів.
4. Як базовий варіант для модернізації обрано вібропрес ВІП-6ПБ, який має просту конструкцію та може бути адаптований для виготовлення різних видів дрібноштучних бетонних виробів.
5. Запропоновано конструктивне рішення з використанням двочастотного вібропривода матриці, що забезпечує ефективніше ущільнення бетонної суміші.
6. Проведено розрахунок продуктивності модернізованого вібропреса. За рахунок формування чотирьох плиток за один цикл продуктивність збільшено до **36 м²/год.**
7. Виконано розрахунок основних параметрів вібропривода, зокрема частот коливань, амплітуд, збуджувальних сил, дебалансів, потужності двигуна, валів, клинопасової передачі, зубчастих коліс і шпонкових з'єднань.

8. Розроблено підхід до автоматизації технологічної лінії виробництва тротуарної плитки із застосуванням програмованого логічного контролера, датчиків, частотних перетворювачів та операторської панелі.

9. Розглянуто питання охорони праці при експлуатації вібропресової лінії, зокрема вплив пилу, шуму, вібрації, параметрів мікроклімату, електробезпеки та освітлення робочої зони.

10. Виконано інженерні розрахунки для розділу охорони праці, зокрема розрахунок захисного заземлення та виробничого освітлення.

Отже, запропонована модернізація вібропресового обладнання дозволяє підвищити продуктивність виробництва, покращити умови ущільнення бетонної суміші, забезпечити стабільну якість дрібноштучних бетонних виробів та підвищити рівень безпеки експлуатації технологічної лінії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібноштучних стінових виробів: Навчальний посібник / О.Г. Савченко. – Х.: Тимченко, 2006. – 416 с.
2. Іванілов О. С. Економіка підприємства: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. С. Іванілов. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 728 с.
3. Емельяненко Н.Г. Аналитическое исследование динамики вибропресса / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саенко, Н.Д. Балера // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ, 2003. – № 6. – С. 295–301.
4. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов. Справочник / Под ред. В.А. Баумана и др. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.
5. А.Т. Гордієнко, В.В. Блажко, А.О. Задорожний. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Експлуатація і ремонт машин» для студентів-бакалаврів спеціальності 133. – Х.: ХНУБА, 2016. – 70 с.
6. Бушуев С.Д., Михайлов В.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 256 с.
7. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
8. Штейблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Высшая школа, 1991.
9. Емельяненко Н.Г. Совершенствование методик расчёта вибропрессов для производства мелкоштучных бетонных изделий // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 23, т. 1. – С. 134–140.

10. Методичні рекомендації по формуванню собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості // Себестоимость продукции: нормативная база, станом на 01.07.2001 р.
11. Уткин В.Л. Новые технологии строительной индустрии / В.Л. Уткин. – М.: ЗАО «Русский издательский дом», 2004. – 116 с.
12. М.Г. Ємельяненко. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни «Деталі машин» для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування». – Х.: ХНУБА, 2016. – 28 с.
13. Гусев Б.В., Зазимко В.Г. Вибрационная технология бетона. – К.: Будівельник, 1991. – 160 с.
14. Основи охорони праці: Підручник / За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – 2-ге вид. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
15. В.В. Блажко, В.А. Гуркаленко, О.В. Кабусь. Методичні вказівки до виконання комплексної курсової роботи з дисциплін «Основи технології виробництва будівельних матеріалів та виробів» та «Процеси та апарати матеріалообробки». – Х.: ХНУБА, 2016. – 53 с.
16. Автоматика и автоматизация производственных процессов / Под ред. Г.К. Нечаева. – К.: Вища школа, 1985. – 279 с.
17. Плетнікова І.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Економіка підприємств». – Харків: ХДТУБА, 2005.
18. Дворкин Л.И., Житковский В.В. Технологические особенности вибропрессованных бетонов // Строительные материалы и изделия. – Киев, 2007. – № 4. – С. 11–14.
19. А.Т. Гордієнко. Методичні вказівки до виконання розділу «Ремонт» комплексного курсового проекту для студентів-бакалаврів спеціальності 133. – Х.: ХНУБА, 2016. – 49 с.
20. Емельяненко Н.Г., Панченко Л.И., Побережный А.М. Исследование динамики и уточнение методики расчета вибропресса для формования бетонных изделий // Новітні технології, обладнання та системи управління у будівництві. – Харків: ХНУБА, 2016. – С. 67–71.

21. Іванілов О.С. Економіка будівельної організації. Підручник. – Харків: ХДТУБА, 2009. – 735 с.
22. Емельяненко Н.Г., Саенко Л.В. Экспериментальные исследования параметров двухмассного вибропресса для формования бетонных изделий // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2005. – № 25. – С. 129–132.
23. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускній кваліфікаційній роботі бакалаврів / Укл. В.О. Юрченко, Л.Г. Клевцова, О.В. Нестеренко. – Харків: ХНУБА. – 40 с.
24. Електронна версія довідника Анурьєва В.І. Справочник конструктора-машиностроителя: у 3 т. Т. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.