

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 «Технологічне обладнання для виробництва декоративних
елементів мощення»

Виконав: здобувач вищої освіти
__4__ курсу, групи ГМ 2022-1
напряму підготовки (спеціальності)

133 – Галузеве машинобудування

Петров Євгеній Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доц. Аніщенко А.І.
(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент к.т.н., доц. Нестеренко М.М.
(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

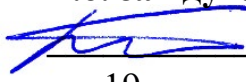
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Галузі знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АКІТ

 **БАРАНОВ О. О.**
« 19 » червень 2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Петрова Євгенія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема роботи Технологічне обладнання для виробництва декоративних елементів мощення

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

Керівник роботи к.т.н. доц. Аніщенко А.І.

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

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи « 24 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи. Метод формування виробів – вібропресування напівсухих бетонних сумішей. Тип продукції – декоративні елементи мощення (тротуарна плитка, бордюри, бетонні блоки). Основне технологічне обладнання – вібропрес типу Columbia 297-10-04.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): провести аналіз сучасних технологій виробництва, огляд конструкцій вібропресового обладнання та технологічні схеми виробництва. Зробити вибір і обґрунтування основного технологічного обладнання, розрахунки продуктивності виробничої лінії, параметрів вібропреса, вібропривода, приводного вала, гідроциліндрів та гідравлічної системи.

Розробити заходи з охорони праці, безпеки експлуатації обладнання і зниження шкідливого впливу виробничих факторів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) технологічна лінія, загальний вигляд пресу, складові креслення (привід, вібробуджувач), деталювання (вал, шків, пружина)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз проблеми	Аніщенко А.І.		
Основна частина	Аніщенко А.І.		
Спеціальна частина	Аніщенко А.І.		
Охорона праці	Рогозін А.С		

7. Дата видачі завдання « 22 » _____ травня _____ 2026 р.

Керівник _____ к.т.н., доц. Аніщенко А.І. _____  (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Петров Є.О. _____  (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів	Примітка
1	Аналіз проблеми	01.06.2026	виконано
2	Основна частина	04.06.2026	виконано
3	Спеціальна частина	10.06.2026	виконано
4	Охорона праці	03.06.2026	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Петров Є.О. _____  (підпис)

Керівник _____ к.т.н., доц. Аніщенко А.І. _____  (підпис)

РЕФЕРАТ

У роботі розглядаються технологічні процеси та обладнання для виробництва декоративних елементів мощення методом вібропресування. Проведено аналіз сучасних технологій виготовлення тротуарної плитки, конструкцій вібропресів та автоматизованих виробничих ліній. Виконано розрахунок основних параметрів вібропресового обладнання, вібропривода та гідравлічної системи. Запропоновано технічні рішення щодо підвищення ефективності виробництва та якості готової продукції.

Структура роботи представлена вступом, чотирма розділами, висновками і переліком посилань.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань. Повний обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра становить 69 сторінок, в тому числі: 20 рисунків; 7 таблиці; перелік посилань з 17 найменувань на 2 сторінках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІБРОПРЕС, ТРОТУАРНА ПЛИТКА, ДЕКОРАТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ МОЩЕННЯ, БЕТОННА СУМІШ, ВІБРОПРЕСУВАННЯ, ВИРОБНИЧА ЛІНІЯ, ВІБРОПРИВІД, ГІДРАВЛІЧНА СИСТЕМА, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА.

ABSTRACT

The paper considers technological processes and equipment for the production of decorative paving elements using the vibrocompression method. An analysis of modern technologies for manufacturing paving slabs, vibropress designs, and automated production lines has been carried out. Calculations of the main parameters of the vibropress equipment, vibration drive, and hydraulic system have been performed. Technical solutions aimed at improving production efficiency and the quality of finished products are proposed.

The structure of the thesis includes an introduction, four chapters, conclusions, and a list of references.

The Bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, and references. The total volume of the thesis is 69 pages, including 20 figures, 7 tables, and a list of 17 references presented on 2 pages.

KEYWORDS: VIBROPRESS, PAVING SLABS, DECORATIVE PAVING ELEMENTS, CONCRETE MIXTURE, VIBROCOMPRESSION, PRODUCTION LINE, VIBRATION DRIVE, HYDRAULIC SYSTEM, PROCESS EQUIPMENT, PRODUCTIVITY, CONCRETE MIXTURE COMPACTION, PRODUCTION AUTOMATION.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі зростає попит на якісні, довговічні та естетично привабливі матеріали для благоустрою територій. Декоративні елементи мощення широко застосовуються при облаштуванні тротуарів, площ, прибудинкових територій та ландшафтному дизайні. Водночас підвищуються вимоги до їхньої якості, точності геометричних розмірів, міцності та різноманітності форм. Це зумовлює необхідність удосконалення технологічного обладнання, що використовується у виробництві таких виробів. Впровадження сучасних технологій і автоматизованих систем дозволяє підвищити продуктивність, знизити енерговитрати та забезпечити стабільність якості продукції, що й обумовлює актуальність даного дослідження.

Мета дослідження – розробка та обґрунтування ефективного технологічного обладнання для виробництва декоративних елементів мощення з покращеними техніко-економічними показниками.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- 1 Провести аналіз сучасних технологій і технологічного обладнання для виробництва декоративних елементів мощення.
- 2 Дослідити фізико-механічні властивості бетонних сумішей та визначити основні вимоги до якості готової продукції.
- 3 Виконати аналіз конструктивних особливостей і принципів роботи сучасних вібропресів та автоматизованих ліній.
- 4 Розробити або вдосконалити конструкцію вібропресового обладнання для виробництва декоративних елементів мощення.
- 5 Виконати інженерні розрахунки основних параметрів обладнання, зокрема продуктивності, параметрів вібропривода, гідросистеми та елементів конструкції.
- 6 Провести оцінку техніко-економічної ефективності запропонованого технічного рішення.
- 7 Розглянути питання охорони праці, безпеки експлуатації та екологічності виробництва під час роботи технологічного обладнання.

Об'єкт дослідження – процес виробництва декоративних елементів мощення.

Предмет дослідження – технологічне обладнання та його параметри, що впливають на якість і ефективність виготовлення декоративних елементів мощення.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах будівельної індустрії для модернізації або впровадження нового технологічного обладнання. Запропоновані рішення сприятимуть підвищенню продуктивності виробництва, зниженню собівартості продукції, покращенню її якості та розширенню асортименту декоративних елементів мощення. Окремі положення роботи можуть бути використані в навчальному процесі під час підготовки фахівців інженерних спеціальностей.

ЗМІСТ

	Стр
ВСТУП.....	6
ЗМІСТ.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1 Огляд літературних джерел.....	10
1.2 Характеристика існуючих технологій виробництва.....	12
1.3 Огляд компаній з виробництва.....	14
1.4 Розробка технологічної схеми та опис процесу.....	19
1.5 Технічні характеристики устаткування комплексу.....	20
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Сутність процесу вібропресування.....	24
2.2 Аналіз існуючих конструкцій.....	25
2.3 Огляд конструкцій вібропресів.....	28
2.4 Розрахунок робочих параметрів вібропреса.....	31
2.5 Розрахунок основних параметрів вібропривода.....	34
2.6 Розрахунок вібропривода.....	35
2.7 Розрахунок приводного вала.....	35
2.8 Розрахунок і вибір гідроциліндрів.....	37
2.9 Розрахунок гідравлічної системи.....	39
2.10 Розрахунок і вибір двотаврів для верхньої траверси.....	40
2.11 Розрахунок шпонок.....	41
2.12 Розрахунок підшипників у випадку використання	
підшипників	42
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Система технічного обслуговування машини.....	44
3.2 Вибір методів організації та проведення капітального	
ремонту.....	45
3.3 Розрахунок трудомісткості ремонтних робіт	46
3.4 Розробка схеми технологічного процесу капітального	
ремонту преса.....	47
3.5 Експлуатація та обслуговування комплексу преса.....	51
3.6 Технологія ремонту валу віброзбуджувача вібропреса.....	53
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	59
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	59
4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації	
вібропресового обладнання.....	61

4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта.....	63
4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях.....	65
4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища.....	66
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	68

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

1.1 Огляд літературних джерел

Декоративні елементи мощення (тротуарна плитка, бруківка, бордюри) є важливою складовою міської інфраструктури. Вони широко застосовуються при облаштуванні пішохідних зон, доріг, площ, парків та прибудинкових територій. Зростання обсягів будівництва та реконструкції об'єктів благоустрою обумовлює необхідність підвищення ефективності виробництва таких виробів.

Аналіз літературних джерел свідчить, що технологічне обладнання для виробництва декоративних елементів мощення є об'єктом активних досліджень у галузях будівництва, машинобудування та автоматизації. Основна увага приділяється вдосконаленню технологій ущільнення бетонних сумішей, підвищенню продуктивності обладнання та забезпеченню стабільної якості продукції.

У фундаментальній праці Adam M. Neville *Properties of Concrete* [1] детально розглянуто фізико-механічні властивості бетонів, що безпосередньо впливають на вибір технології формування виробів. Автор підкреслює, що ущільнення бетонної суміші є ключовим фактором забезпечення міцності та довговічності виробів.

У роботі Sidney Mindess *Concrete* [2] наведено сучасні підходи до проектування бетонних сумішей для промислового виробництва, зокрема для тротуарної плитки. Вказується, що використання напівсухих сумішей є оптимальним для процесів вібропресування.

Вітчизняні дослідження (наприклад, у Вінницький національний технічний університет) показують, що вібропресування забезпечує найкраще співвідношення продуктивності та якості продукції у порівнянні з альтернативними методами [3].

Згідно з сучасними джерелами [1–4], існують три основні технології виробництва декоративних елементів мощення:

- вібролиття;
- гіперпресування;
- вібропресування.

Найбільш поширеною є технологія вібропресування, яка передбачає ущільнення напівсухої бетонної суміші під дією вібрації та тиску. Вона забезпечує:

- високу міцність (до 40–60 МПа);
- низьке водопоглинання (менше 6%);

– високу морозостійкість (F200 і вище) [4].

Європейський стандарт European Committee for Standardization EN 1338 [4] регламентує основні вимоги до бетонної тротуарної плитки, включаючи механічні характеристики та показники довговічності.

Основною технологією виготовлення декоративних елементів мощення є **вібропресування** бетонної суміші, яке забезпечує високу щільність, міцність і довговічність продукції. Альтернативною є технологія **вібролиття**, однак вона поступається за продуктивністю та автоматизацією.

Технологічний процес включає наступні основні стадії:

- підготовка сировинних матеріалів;
- дозування компонентів;
- приготування бетонної суміші;
- формування виробів (вібропресування);
- транспортування та витримування;
- тверднення (пропарювання або природне);
- складування готової продукції.

Сучасні вібропреси, що випускаються такими компаніями, як Zenith Maschinenfabrik GmbH та BESS Concrete Block Machines, характеризуються високим рівнем автоматизації та продуктивності [5, 6].

Конструктивно вібропрес включає:

- пресову частину;
- вібраційний механізм;
- матрицю (форму);
- систему подачі суміші;
- систему керування.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділено:

- оптимізації параметрів вібрації;
- зниженню енерговитрат;
- підвищенню ресурсу форм [5].

За даними виробників, продуктивність сучасних вібропресів може досягати 1000–3000 виробів за годину залежно від типу продукції [6].

У літературі [5–6] зазначається, що сучасне виробництво декоративних елементів мощення здійснюється на автоматизованих лініях, які включають:

- дозувальні установки;
- бетонозмішувачі;
- вібропреси;
- транспортні системи;
- камери тверднення.

Такі лінії забезпечують:

- безперервність виробництва;
- мінімізацію ручної праці;
- стабільність якості продукції.

Особливе значення має інтеграція систем автоматичного керування, що дозволяє контролювати параметри процесу в реальному часі.

Аналіз джерел [1–6] дозволяє виділити такі тенденції:

- підвищення рівня автоматизації (використання PLC-контролерів);
- застосування енергоефективних приводів;
- використання цифрових систем моніторингу;
- розширення асортименту продукції;
- підвищення екологічності виробництва.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що:

- вібропресування є найбільш ефективною технологією виробництва декоративних елементів мощення;
- сучасне обладнання характеризується високою продуктивністю та автоматизацією;
- основні проблеми пов'язані з енерговитратами та зносом обладнання;
- перспективи розвитку полягають у вдосконаленні конструкцій вібропресів та впровадженні інтелектуальних систем керування.

1.2 Характеристика існуючих технологій виробництва

Для виготовлення бетонної тротуарної плитки застосовують два основних технологічних методи:

- вібропресування напівсухих сумішей із низьким водоцементним відношенням (В/Ц);
- вібролиття з використанням пластифікуючих добавок.

Обидві технології дозволяють отримувати вироби з низькою пористістю, що досягається за рахунок зменшеного вмісту води в бетонній суміші та її інтенсивного ущільнення під дією механічних впливів (вібрації або поєднання вібрації з пресуванням). Суттєвої абсолютної переваги жоден із методів не має, тому вони використовуються паралельно та конкурують між собою.

Метод вібролиття реалізується шляхом ущільнення бетонної суміші у формах на вібростолі. Необхідна якість виробів досягається за рахунок застосування пластифікуючих добавок, які підвищують рухливість суміші. Даний метод характеризується відносною простотою організації виробництва: для запуску достатньо виробничого приміщення площею 100–300 м², трифазного

електроживлення, однієї-двох бетономішалок, формувальних столів, розпалубочного обладнання та комплекту форм. Це дозволяє виготовляти широкий спектр продукції, зокрема фігурну плитку, плити різної товщини, фасадні елементи, декоративні огорожі та водовідвідні лотки.

Технологічний процес вібролиття включає:

- підготовку форм;
- приготування бетонної суміші;
- формування виробів на вібростолі;
- витримування у формах протягом доби;
- розпалубку;
- пакування та зберігання.

Технологія вібропресування передбачає ущільнення бетонної суміші у прес-формі під одночасною дією вібрації та тиску. Цей метод характеризується високою продуктивністю та можливістю автоматизації процесу. Він також дозволяє виготовляти багатошарові вироби з декоративним лицьовим шаром із використанням мінеральних наповнювачів (гранітної або мармурової крихти).

Основні етапи вібропресування:

- приготування бетонної суміші;
- формування виробів на вібропресі;
- витримування на піддонах у штабелях;
- розпалубка;
- пакування та складування.

Для обґрунтування вибору технології доцільно порівняти характеристики продукції, отриманої різними методами.

Метод вібропресування відзначається високою продуктивністю та можливістю автоматизації виробництва. Використання бетонних сумішей із низьким водоцементним відношенням забезпечує раціональне використання цементу, а також високі показники міцності (М200–М400) і морозостійкості (F200–F300). Вироби мають точну геометрію, стабільні розміри та паралельність поверхонь.

Шорстка структура поверхні вібропресованої плитки підвищує її протиковзкі властивості, що є важливим для експлуатації в умовах міської інфраструктури (тротуари, зупинки транспорту, склади, логістичні майданчики). Крім того, кольорові вироби, отримані цим методом, зберігають насиченість кольору протягом усього терміну служби (понад 25 років). Поверхня таких виробів допускає додаткову обробку (шліфування, полірування, бучардування).

На відміну від цього, метод вібролиття характеризується нижчою продуктивністю та обмеженими можливостями автоматизації. Через підвищене

водоцементне відношення знижується морозостійкість виробів, що потребує додаткового введення цементу або хімічних добавок, а це, у свою чергу, збільшує собівартість продукції.

Литі вироби часто мають менш точну геометрію та гладку поверхню, що може призводити до зниження їх експлуатаційних характеристик. Зокрема, гладка поверхня підвищує ризик ковзання, а також погіршує здатність матеріалу до «дихання», що сприяє накопиченню вологи та можливого руйнуванню при циклах заморожування та відтавання.

Порівняльний аналіз показує, що технологія **вібропресування** є більш ефективною з точки зору якості продукції, продуктивності та можливостей автоматизації. Вона забезпечує отримання виробів із кращими експлуатаційними характеристиками та стабільними геометричними параметрами, що обумовлює доцільність її використання у сучасному виробництві декоративних елементів мощення.

1.3 Огляд компаній з виробництва

У сучасних умовах розвитку будівельної індустрії ринок декоративних елементів мощення представлений значною кількістю підприємств, які відрізняються рівнем технологічного оснащення, масштабами виробництва та якістю продукції.

Аналіз показує, що підприємства галузі умовно можна поділити на три групи:

- великі промислові виробники з високим рівнем автоматизації;
- середні підприємства з частковою механізацією;
- малі виробники з переважно напівручним виробництвом.

Компанія ППК ПК використовує сучасні технології, однак рівень автоматизації є дещо нижчим (рис. 1.1) [7]. Водночас підприємство компенсує це за рахунок гнучкості виробництва та ширшого асортименту (рис. 1.2).

Компанія Ектабуд застосовує сучасні технології виготовлення тротуарної плитки, орієнтуючись на поєднання якості сировини та ефективних методів формування виробів (рис. 1.3) [8]. У виробництві використовуються модифіковані бетонні суміші з добавками, що забезпечують високу міцність і довговічність продукції. Технологічний процес включає механізоване формування та контроль якості на основних етапах виготовлення. Це дозволяє підприємству отримувати продукцію, яка відповідає сучасним вимогам до надійності та експлуатаційних характеристик.

Фігурні елементи мощення (ФЕМ) – це бетонні вироби, які застосовуються для облаштування доріжок, майданчиків і ландшафтних територій, поєднуючи практичну функцію з декоративною. Вони відрізняються різноманітністю форм, розмірів і дизайнів, що дозволяє використовувати їх для зонування простору, оформлення територій та підвищення безпеки покриття.



Рисунок 1.1 – Процес виробництва елементів методом вібропресування на підприємстві виробничої компанії ПІК ПК



Рисунок 1.2 –Тротуарна плитка та бруківка виробничої компанії ПІК ПК



Рисунок 1.3 – Виробництво тротуарної плитки та бруківки Компанії Ектабуд

Окрім плитки, сучасні виробники пропонують супутні елементи: бордюри, водовідвідні лотки, декоративні огорожі, фасадний камінь та інші бетонні вироби. Вони виготовляються з міцних матеріалів, мають довгий термін служби та забезпечують як естетичність, так і функціональність благоустрою.

Компанія Ектабуд спеціалізується на виробництві широкого асортименту бетонних декоративних виробів для благоустрою територій (рис. 1.4) [8]. Її продукція характеризується міцністю, довговічністю та різноманітністю дизайнерських рішень, що дозволяє ефективно застосовувати її як у приватному, так і в комерційному будівництві.

Компанія Кармель пропонує лінії вібропресування для виготовлення бетонних виробів (рис. 1.5) [9]. Принцип роботи такого обладнання полягає у формуванні бетонної суміші під одночасною дією вібрації та пресування, що забезпечує високу щільність і точність геометричних параметрів продукції. Технологія використовується для виробництва тротуарної плитки, бордюрів, стінових блоків та інших будівельних елементів, які характеризуються підвищеною міцністю, довговічністю та стійкістю до зовнішніх впливів.

Для виробництва тротуарної плитки розміром $500 \times 500 \times 60$ мм із піщаного бетону на підприємствах застосовують конвеєрні автоматизовані лінії (рис. 1.6) [10]. Формування виробів із жорстких бетонних сумішей здійснюється методом віброштампування.

Попередньо підготовлені (очищені та змащені) піддони встановлюються в матриці та заповнюються бетонною сумішшю. Далі кроковий конвеєр переміщує їх до зони попереднього ущільнення, де суміш вирівнюється, піддається струшуванню та частково ущільнюється з одночасним видаленням повітря.



Рисунок 1.4 – Фігурні Елементи Моцнення Компанії Ектабуд



Рисунок 1.5 – Лінія вібропресування

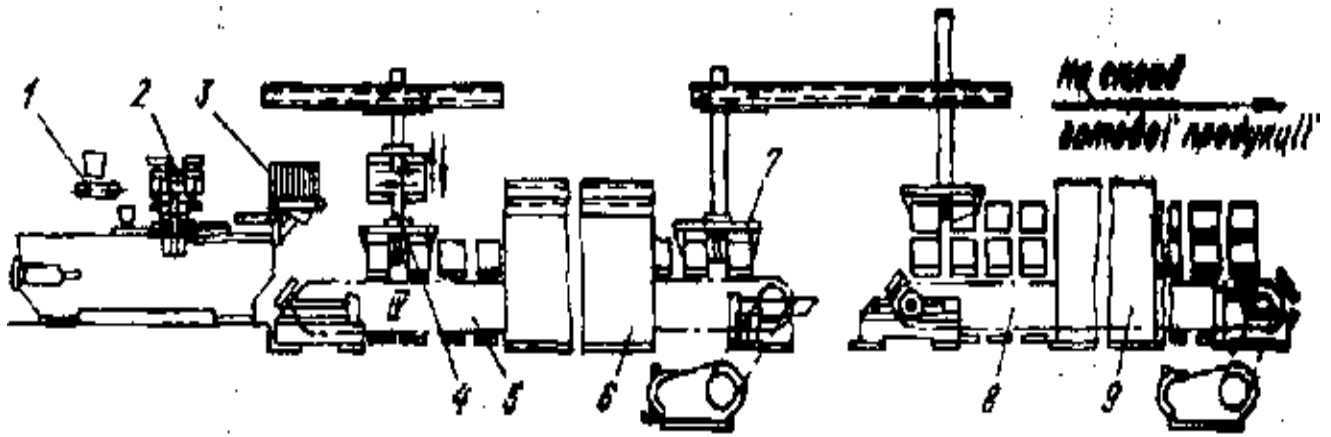


Рисунок 1.6 – Автоматизована конвейєри а лінія виробництва тротуарних плиток

1 – устаткування для приймання розподілення бетонної суміші; 2 – пост вібропресування бетону; 3 – автомат-пакувальник; 4 – автомат для перекладання пакетів; 5 – конвейєр камери першої стадії ТВО; 6 – камера першої стадії ТВО; 7 – автозакват; 8 – конвейєр камери другої стадії ТВО; 9 – камера другої стадії ТВО

На наступному етапі, у зоні вібропресування, відбувається формування виробів за допомогою пуансонів. При цьому застосовується двочастотна вібрація (близько 50 Гц і 125 Гц) у поєднанні зі статичним тиском, що забезпечує необхідну щільність і міцність плитки.

Після формування вироби одразу розпалублюються: плитка разом із піддонами подається на накопичення, а матриці повертаються у цикл формування. Надалі піддони зі сформованими виробами комплектуються у штабелі та направляються до камери попередньої теплової обробки, де протягом приблизно 9–10 годин при температурі близько 60 °C бетон набирає початкову міцність.

Після досягнення міцності 20–25 МПа плитку знімають із піддонів, укладають у штабелі та транспортують до камери остаточного тверднення. Тут вироби витримуються близько 10 годин при температурі до 80 °C із подальшим поступовим охолодженням.

Порожні піддони повертаються конвеєром на початкову ділянку, що забезпечує безперервність виробництва. Усі технологічні операції на лінії автоматизовані.

Продуктивність такої лінії становить до 500 тис. м² продукції на рік, при ритмі формування близько 20 секунд. Обслуговування здійснюється невеликою кількістю персоналу (близько 3 осіб за зміну). За аналогічною технологією також можливе виготовлення бортового каменю.

1.4 Розробка технологічної схеми та опис процесу

Пропонується технологічна схема виготовлення тротуарної плитки методом відбропресування, яка зображена на рисунку 1.7.

Гранвідсів доставляється на підприємство автотранспортом (1) і завантажується в приймальний бункер (2). Далі матеріал за допомогою стрічкових живильників (3, 5) та елеватора (4) подається до вальців (6), де відбувається його подрібнення. Після цього подрібнений матеріал надходить у бункер гранвідсіву (7), звідки транспортується стрічковим живильником (8) для подальшого використання.

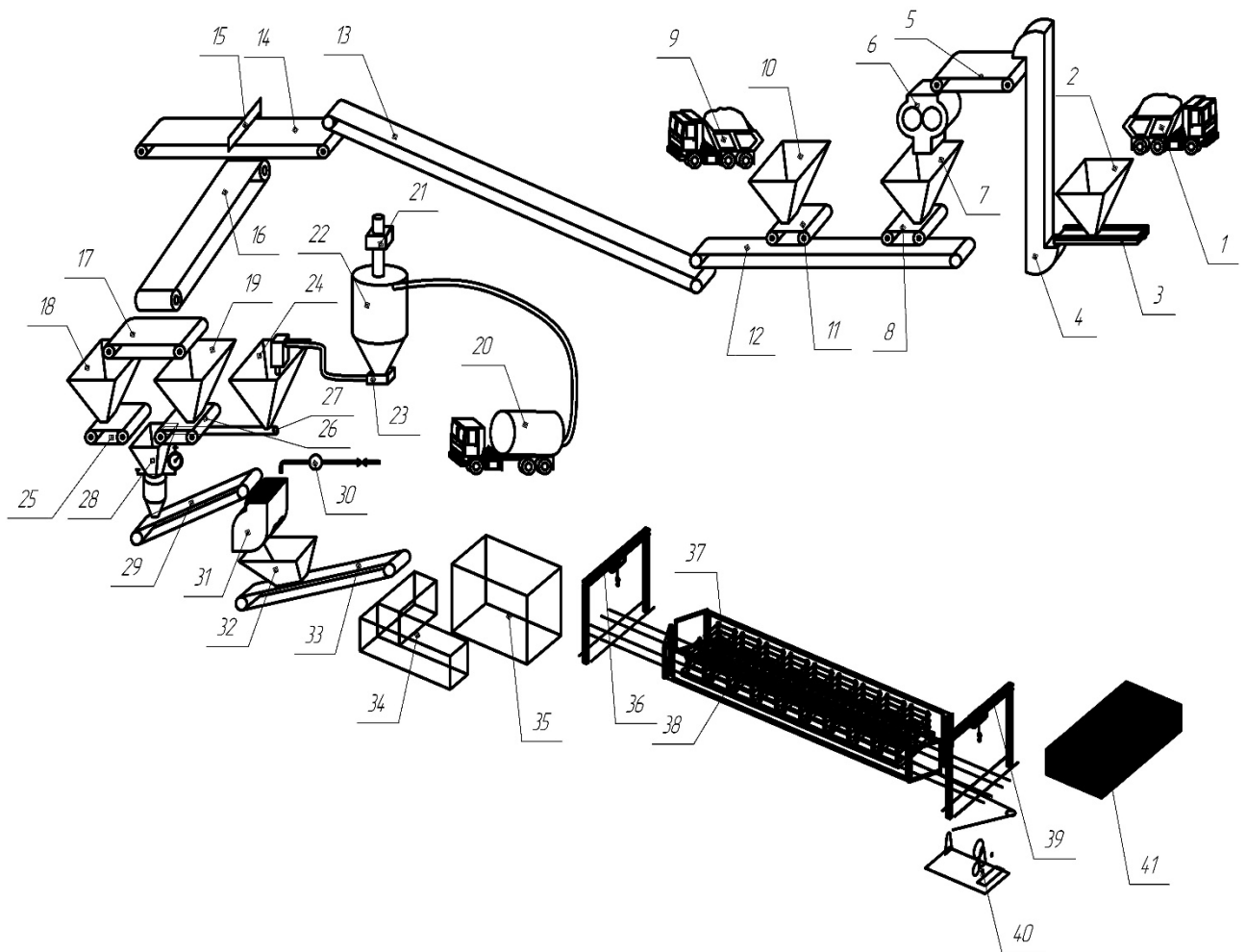


Рисунок 1.7 – Технологічна схема виготовлення тротуарної плитки методом відбропресування

Паралельно здійснюється подача піску. Він доставляється автотранспортом (9) і завантажується в бункер (10), після чого через живильник (11) подається на стрічкові конвеєри (12, 13, 14). За допомогою плужкового

скидача (15) матеріал перенаправляється на конвеєр (16), а далі – на реверсивний конвеєр (17), який забезпечує розподіл матеріалу по витратних бункерах (18, 19).

Цемент надходить на підприємство цементовозом (20) і подається у силос (22). Із силосу через шнековий живильник (23) цемент транспортується у витратний бункер (24). Далі по шнековому транспортеру (27) він подається до вагового дозатора (28), де відбувається його дозування разом із заповнювачами, що надходять із бункерів (18, 19) за допомогою живильників (25, 26).

Після дозування всі компоненти суміші подаються стрічковим конвеєром (29) до одновального змішувача (31), де відбувається їх ретельне перемішування. У процесі змішування додається вода через дозатор (30). Змішувач обладнаний автоматичною системою керування, яка регулює подачу води відповідно до заданої програми.

Готова бетонна суміш надходить до бункера активованої суміші (32), звідки подається на вібропрес (35). У процесі формування суміш ущільнюється під дією вібрації та тиску і укладається на піддони.

З метою зниження енерговитрат твердіння виробів здійснюється у природних умовах виробничого приміщення. Розпалубка виконується приблизно через 15 годин після формування, коли бетон досягає 30–40 % від проектної міцності.

Після розпалубки вироби укладаються на дерев'яні піддони в перев'язку, зазвичай у два ряди до 10–12 ярусів, і витримуються до набору відпускної міцності. У теплий період року цей процес триває 3–4 доби, а в холодний – 5–6 діб.

Піддони після використання очищуються металевими щітками, формуються у штабелі та повертаються на формувальну ділянку для повторного використання.

Готова продукція транспортується краном на склад, де зберігається до відвантаження. Відвантаження споживачам здійснюється автотранспортом, при цьому порожні вагонетки повертаються у зону накопичення.

1.5 Технічні характеристики устаткування комплексу

В основі розрахунку кількості технологічного устаткування лінії лежить матеріальний баланс і режим роботи підприємства. Кількість устаткування визначимо по формулі:

$$n = \frac{Q_p}{8760 * q * K_c * K_u}, \text{ шт};$$

де n – кількість устаткування, шт;

Q_p – річна продуктивність, м³/рік (м²/рік);

q – годинна продуктивність, м³/год (м²/год);

K_c – коефіцієнт змінності, $K_c = 0,66$;

K_n – коефіцієнт використання устаткування, $K_n = 0,87$;

8784 – річний фонд часу, ч.

Основне устаткування працює циклично, тому годинна продуктивність:

$$q = 3600 \cdot q_{\text{ц}} / T_{\text{ц}},$$

де $q_{\text{ц}}$ – продуктивність за один цикл, м³.

Кількість бетонозмішувачів СБ-35 (технічна характеристика приведена в таблиці 1.1):

$$q = 3600 \cdot 0,35 / 170 = 7,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$n = 31020 / (8760 \cdot 7,4 \cdot 0,66 \cdot 0,87) = 0,83 \text{ шт.}$$

Приймаємо один **бетонозмішувач**.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики бетонозмішувача СБ-35

Характеристика	Значення
Обсяг змішувача по завантаженню, л	500
Обсяг готового замісу бетону, л	330
Час перемішування, с	120
Установлена потужність, кВт	13
Частота оберт. ротора, об/хв	32
Габаритні розміри, мм:	
довжина	2200
ширина	1970
висота	1800
Маса, кг	2000

Кількість вібропресів:

$$q = 3600 \cdot 0,09 / 25 = 12,96 \text{ м}^2/\text{ч};$$

$$n = 54328 / (8760 \cdot 12,96 \cdot 0,66 \cdot 0,87) = 0,83 \text{ шт}$$

Приймаємо один **вібропрес** (технічна характеристика приведена в таблиці 1.2):.

Кількість вагонеток і піддонів:

$$N_{\text{ваг.}} = \frac{Q_{\text{год}}}{Q_{\text{год.ваг.}}} = \frac{54328}{970,4} = 56 \text{ шт}$$

де F – м² плитки на одній вагонетці; $F = k \cdot m = 240 \cdot 0,072 = 17,3 \text{ м}^2$

k – кількість піддонів на вагонетці;

m – м² плитки на піддоні;

Q_v – продуктивність вагонетки; $Q_v = 17,3 \text{ м}^2/\text{цикл}$

$T_{\text{ц}}$ – час одного циклу використання вагонетки; $T_{\text{ц}} = 4 \text{ діб}$

$N_{\text{ц.}}$ – кількість циклів; $N_{\text{ц.}} = 230 / 4 = 56 \text{ циклів}$

$Q_{\text{год.ваг}}$ – продуктивність вагонетки в рік; $Q_{\text{год.ваг.}}=Q_{\text{в}} \cdot N_{\text{ц}}=17,3 \cdot 56=970,4$ м²/год

Приймаємо кількість вагонеток 58шт з урахуванням виходу з ладу.

Кількість піддонів:

$$N_{\text{під}}=N_{\text{ваг.}} \cdot k=58 \cdot 240=13920 \text{ шт.}$$

Розрахунок транспортуючого обладнання.

Обсяг матеріалу, що подається у змішувач $Q_{\text{зм}}=5,3$ м³/год, отже продуктивність стрічкових конвеєрів буде:

$$Q_{\text{конв.}}=Q_{\text{зм}}=5,3 \text{ м}^3/\text{год}$$

Продуктивність елеватора й розподільного конвеєра приймаємо в 3-4 більше від витрати суміші:

$$Q_{\text{елсв}}=Q_{\text{зм}} \cdot 4=5,3 \cdot 3=15,9 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика вібропреса «Colambia»

Параметр	Од. вим.	Значення
Завод – виготовлювач	-	Columbia Machine Inc.
Модель	-	297-10-04
Продуктивність (розрахункова)	шт./год.	600
Кількість цеглин, що одночасно пресуються	шт..	6
Кількість прес-форм	шт..	1
Вібратор: тип потужність амплітуда частота	- кВт. мм. хв ⁻¹	ексцентриковий 1,1 0,2 3000
Насосна установка: тах. тиск подача потужність частота двигуна	МПа л./хв кВт. (к.с.) хв ⁻¹	6 100 4,5 (5,5) 1500
Розмір піддона	мм.	7,5(9)x350x480
Розміри	мм.	1150x2100x2700
Маса	кг.	4000
Питома витрата електроенергії	кВт./год тис. шт.	5,6

Розрахунок бункерів.

Приймальний бункер наповнювача піску та щебеню приймаємо з розрахунку обсягу кузова автосамосвала КАМАЗ-5310 $V=9\text{ м}^3$. Форма бункерів пірамідальна з вузькою нижньою частиною для дозатора розміром 50х50.

Обсяг силосу приймаємо з розрахунку ємності автомобільного цементовоза $V_{\text{цсм}}=6\text{ м}^3$.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Сутність процесу вібропресування

Процес ущільнення бетонної суміші полягає у максимально щільному розміщенні твердих частинок, за якого об'єм порожнин між ними зменшується до мінімального значення. Ущільнення може відбуватися природним або примусовим способом. Природне ущільнення виникає під дією власної ваги частинок, коли порушується рівновага між силами тертя, зчеплення та тяжіння. Частинки переміщуються, займаючи більш компактне положення, унаслідок чого суміш ущільнюється.

У виробництві бетонних виробів застосовується примусове ущільнення, при якому зовнішні механічні впливи зменшують сили тертя та зчеплення між частинками суміші. Це забезпечує їх переміщення та переукладання у більш щільну структуру. Для ефективного ущільнення кожна частинка повинна отримати імпульс, достатній для подолання внутрішнього тертя та підтримання руху.

Серед основних способів ущільнення бетонних сумішей – пресування, лиття та вібропресування – найбільш ефективним вважається вібропресування. Цей метод поєднує дію вібрації та статичного тиску, що дозволяє отримувати вироби високої щільності при відносно невеликих зусиллях пресування та компактних розмірах обладнання.

Використання лише пресування без вібрації не забезпечує достатньої якості виробів: бетон залишається пористим, гігроскопічним і менш міцним. Вібраційний вплив, навпаки, сприяє зближенню частинок суміші, рівномірному розподілу води та кращій гідратації цементу, що позитивно впливає на міцність і довговічність бетону.

Ефективність ущільнення значною мірою залежить від жорсткості бетонної суміші. При зменшенні водоцементного відношення суміш стає менш рухливою, а її ущільнення ускладнюється. Під дією вібрації жорстка бетонна суміш тимчасово набуває пластичних властивостей, що полегшує її укладання та ущільнення. Після припинення вібрації частинки втрачають рухливість і формується структура свіжого бетону.

Бетонна суміш після змішування містить значну кількість порожнин, тому без застосування вібраційного ущільнення готові вироби були б недостатньо міцними та довговічними. Вібрація дозволяє зменшити пористість матеріалу та підвищити його експлуатаційні характеристики.

Передача коливань бетонній суміші може здійснюватися двома способами:

- зовнішньою вібрацією;
- глибинною вібрацією.

Зовнішня вібрація застосовується переважно для жорстких сумішей із низьким вмістом води, тоді як глибинна використовується для пластичних бетонів і великогабаритних конструкцій.

У процесі ущільнення бетонної суміші спостерігається декілька стадій. На початковому етапі частинки зближуються та відбувається перерозподіл суміші. Надалі бетон ущільнюється, зростають сили внутрішнього тертя та в'язкості. При надлишковому вмісті води можливе розшарування суміші, коли крупний заповнювач осідає на дно форми. За оптимальної консистенції суміш набуває стабільної структури та після завершення вібрації здатна витримувати механічні навантаження.

Коливання у бетонній суміші передаються через систему контактів між зернами заповнювача та цементною пастою. Кожна частинка здійснює вимушені коливання з певною амплітудою та частотою, які залежать від її маси, розмірів і властивостей навколишнього середовища.

Експериментальні дослідження показали, що найбільш ефективними є режими ущільнення з частотою вібрації 25–75 Гц, прискоренням близько 50 м/с^2 та тиском на суміш близько 80 кПа. Недостатній тиск призводить до неповного ущільнення, а надмірний – до защемлення повітря в бетоні.

Для поліпшення якості ущільнення доцільним є застосування двочастотної вібрації, яка забезпечує ефективне ущільнення як дрібних, так і крупних частинок суміші. У сучасних вібропресах переважно використовується вертикальна вібрація, оскільки вона забезпечує більш ефективне передавання енергії та краще ущільнення бетонної суміші порівняно з горизонтальною.

Таким чином, вібропресування є одним із найефективніших методів формування бетонних виробів, оскільки забезпечує високу щільність, міцність і довговічність продукції при високому рівні механізації та автоматизації виробництва.

2.2 Аналіз існуючих конструкцій

Технологія виготовлення пресованої тротуарної плитки почала активно розвиватися у країнах Західної Європи ще у 30-х роках ХХ століття. Протягом тривалого часу обладнання та методи формування бетонних виробів постійно вдосконалювалися. Значний внесок у розвиток технології вібропресування зробила німецька компанія HESS Maschinenfabrik GmbH & Co. KG [11 – 13], яка розробила технологію об'ємного напівсухого вібропресування. Дана технологія

забезпечує високу щільність і точність геометричних параметрів виробів та широко застосовується у сучасному виробництві бетонних елементів мощення.

Для виготовлення тротуарної плитки, плит підлог, бордюрів та інших малогабаритних виробів із жорстких бетонних сумішей використовуються вібропреси, в яких ущільнення матеріалу відбувається під дією вібрації та статичного тиску.

Умовно існуючі вібропреси можна поділити на дві основні групи:

1 Преси спрощеної конструкції – установки невеликої продуктивності, що не потребують значних виробничих площ і складної інфраструктури. До цієї групи належать моделі типу ВИП-6ПБ, ПВ-01, КВАДР 2Т02. Такі машини характеризуються нижчою вартістю, простотою обслуговування та невисокими експлуатаційними витратами.

2 Високопродуктивні автоматизовані преси – обладнання складнішої конструкції, призначене для масового виробництва. До них належать установки типу Компакта 600, 2000, 3000, 6000 та Єврокомпакта. Ці машини забезпечують високий рівень автоматизації, стабільну якість продукції та значну продуктивність.

Вібропреси класифікують за декількома ознаками.

За конструктивним виконанням (рис. 2.1):

- зі стаціонарною прес-формою та виштовхуванням виробу вгору;
- з вібрацією всіх стінок форми;
- із застосуванням вібраторів кінематичного збудження.

За кількістю виробів, що формуються одночасно:

- одногніздові;
- багатогніздові.

За типом вібраторів:

- дебалансні;
- кінематичні.

За характером коливань:

- гармонійні одно- або багаточастотні;
- ударні;
- регульовані та нерегульовані.

За способом створення тиску:

- із використанням гідроциліндрів;
- із використанням пневмоциліндрів.

За типом піддонів:

- металеві;
- дерев'яні.

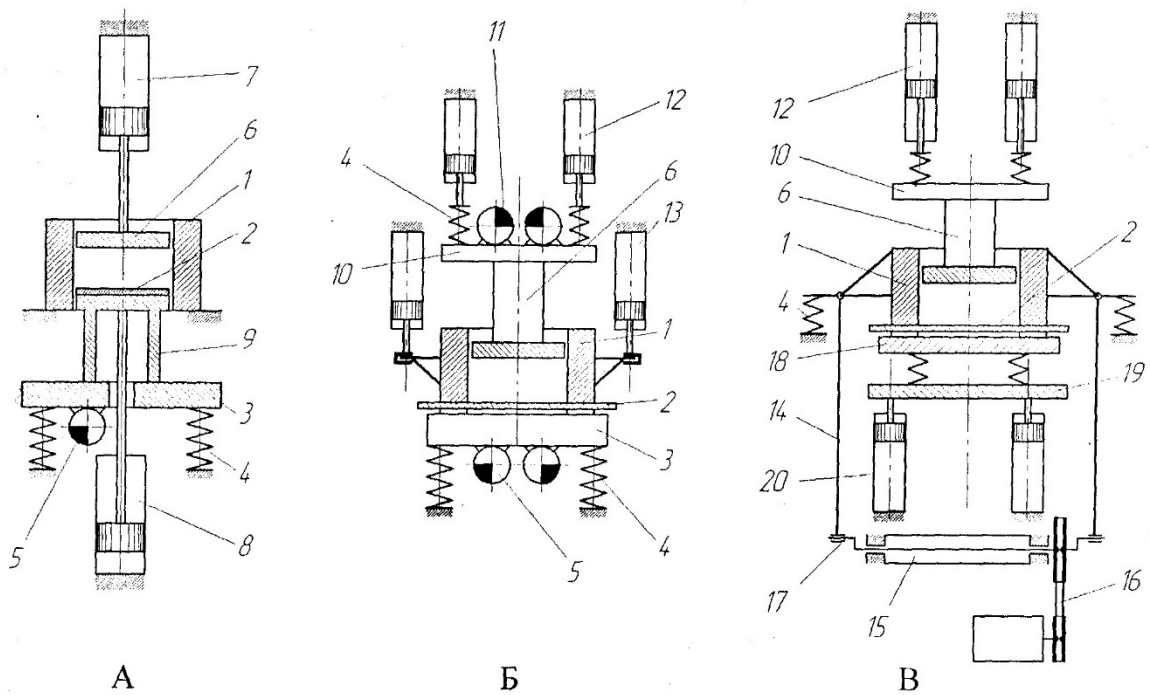


Рисунок 2.1 – Конструктивні схеми вібропресування

1 – прес-форма; 2 – піддон; 3 – вібростіл; 4 – пружний елемент; 5, 11 – відцентровий дебалансний вібратор; 6 – верхній штамп (пуансон); 7, 8 – пневмоциліндр; 9 – нижній пуансон; 10 – траверсу верхніх пуансонів; 12, 13, 20 – пари гідроциліндрів; 14 – тяги для передачі вібрації прес-формі; 15 – вібратор кінематичного збудження; 16 – клино-пасова передача; 17 – ексцентричні шейки валу вібратора; 18 – столик; 19 – нижня траверса

Основними перевагами вібропресів спрощеної конструкції є:

- порівняно невисока вартість;
- компактність обладнання;
- простота монтажу та експлуатації;
- невеликі витрати на технічне обслуговування;
- можливість використання персоналу невисокої кваліфікації.

Завдяки цьому подібне обладнання широко застосовується на малих і середніх підприємствах. Водночас високопродуктивні автоматизовані лінії забезпечують кращу якість виробів, стабільність технологічного процесу та значно більші обсяги виробництва.

Таким чином, вибір конструкції вібропреса залежить від масштабів виробництва, необхідної продуктивності, рівня автоматизації та економічних можливостей підприємства.

2.3 Огляд конструкцій вібропресів

Інерційні вібропрес-молоти (ІВПМ) (рис. 2.2) [14] є сучасним різновидом пресового обладнання, створеного на основі гідроімпульсного приводу (ГІП) та призначеного для формування виробів із порошкових матеріалів методом віброударного пресування.

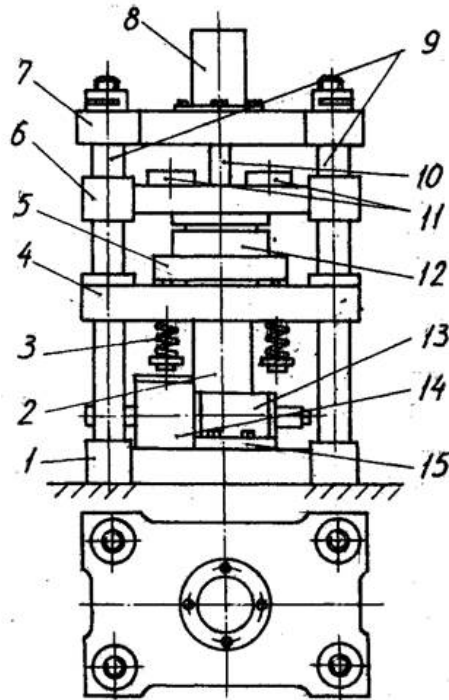


Рисунок 2.2 – Конструктивне виконання ІВПМ

1 – станина; 2 – поперечина; 3 – робочий стіл; 4, 12 – насосні станції; 5, 13 – гідроциліндр; 6 – віброзбуджувач; 7 – гідроаккумулятор; 8 – регулятор витрат; 9 – двоходовий розподільник; 10 – манометр з краном; 11 – запобіжний клапан; 14 – редукційний клапан; 15 – манометр

У гідросистемі вібропрес-молота передбачено дві насосні станції: високого тиску та допоміжного приводу низького тиску.

Насос високого тиску подає робочу рідину до гідроаккумулятора. Після досягнення заданого тиску спрацьовує віброзбуджувач, який створює імпульс тиску та передає його на гідроциліндр приводу робочого столу. Періодичне спрацювання віброзбуджувача забезпечує автоматичне регулювання тиску в системі.

Енергія імпульсу може змінюватися шляхом регулювання об'єму гідроаккумулятора або за допомогою регулятора витрати робочої рідини. Для контролю та безпечної роботи системи використовуються розподільники,

манометри та запобіжні клапани.

Допоміжний насос забезпечує роботу гідроциліндра переміщення рухомої поперечини та створення додаткового статичного навантаження на заготовку. Регулювання цього зусилля здійснюється редукційним клапаном.

Конструкція ІВПМ також передбачає можливість підключення вібробуджувача як на вході, так і на виході гідросистеми, що розширює функціональні можливості обладнання та дозволяє реалізовувати різні режими віброударного пресування.

У деяких випадках замість гідравлічного приводу низького тиску може застосовуватися пневматична система з робочим тиском 0,4–0,5 МПа. Використання пневмоприводу спрощує конструкцію обладнання та зменшує витрати на його виготовлення й обслуговування, особливо на підприємствах немашинобудівного профілю.

ВП-5. Компанія ПП Будпостач пропонує вібропрес важільного типу серії ВП-5 для виготовлення тротуарної плитки (рис. 2.3) [15]. Конструкція обладнання передбачає наявність каретки пуансона з вібратором та нижньої віброплощини, а система важелів забезпечує підйом рухомих елементів машини.



Рисунок 2.3 – Вібропрес для тротуарної плитки

Особливістю вібропреса є спрощена конструкція, у якій відсутні гідравлічна маслостанція та система високого тиску, що значно полегшує експлуатацію й технічне обслуговування обладнання. Незважаючи на

конструктивну простоту, вібропрес забезпечує якісне формування бетонних виробів і за технічними характеристиками не поступається гідравлічним аналогам.

Формувальна частина оснащена двома електромеханічними вібраторами, які забезпечують ефективне ущільнення бетонної суміші. Вироби, виготовлені на даному обладнанні, відповідають вимогам чинних державних стандартів щодо міцності та якості.

Вібропрес БП-300. Компанія BUM Vibropress пропонує вібропрес БП-300 (рис. 2.4) [16], призначений для виробництва тротуарної плитки, бордюрів та бетонних блоків. Обладнання працює у напівавтоматичному режимі та забезпечує формування виробів методом вібропресування, що дозволяє отримувати продукцію високої щільності та точної геометричної форми.

Вібропрес оснащений моноблочним вібростолом, гідравлічною системою та сучасною електротехнікою Schneider Electric. Конструкція машини дозволяє виготовляти вироби висотою від 20 до 200 мм, а також передбачає можливість подальшої автоматизації виробничого процесу.

Технічні характеристики вібропреса БП-300:

- споживана потужність – 8,0 кВт;
- напруга живлення – 380 В, 50 Гц;
- розміри формувальної зони – 650×620×200 мм;
- тривалість одного виробничого циклу – 60 с;
- продуктивність – до 60 циклів за годину;
- габаритні розміри – 960×1100×2582 мм;
- маса обладнання – 850 кг.

До основних переваг обладнання належать: компактність конструкції; надійна гідравлічна система; можливість виготовлення широкого асортименту виробів; простота експлуатації та обслуговування; підготовка до автоматизації виробництва.

Вібропрес ПС 150 ПА. Напівавтоматична лінія вібропресування для виробництва дорожніх бордюрів 1000мм в довжину, поребриків, стінових блоків, фундаментних блоків, саману, шлакоблоку та іншої бетонної продукції. Підходить для малого і середнього бізнесу.

Компанія Васт-Сервіс пропонує вібропрес ПС 150 ПА – напівавтоматичну лінію вібропресування, призначену для виготовлення широкого асортименту бетонних виробів (рис. 2.5) [17]. Обладнання використовується для виробництва дорожніх бордюрів довжиною до 1000 мм, поребриків, стінових і фундаментних блоків, шлакоблоків, саману та інших будівельних елементів.

Принцип роботи установки базується на ущільненні бетонної суміші під дією вібрації та пресування, що забезпечує високу міцність і точність геометричних параметрів готової продукції. Напівавтоматичний режим роботи

дозволяє поєднати достатню продуктивність із відносно невисокими витратами на експлуатацію та обслуговування.

Вібропрес ПС 150 ПА орієнтований на підприємства малого та середнього бізнесу. До основних переваг обладнання належать:

- універсальність застосування;
- можливість виготовлення різних типів бетонних виробів;
- компактність виробничої лінії;
- простота експлуатації;
- порівняно невисока вартість обладнання.

Завдяки своїй конструкції та функціональності вібропрес ПС 150 ПА може ефективно використовуватись як для організації невеликих виробництв, так і для розширення існуючих виробничих потужностей.

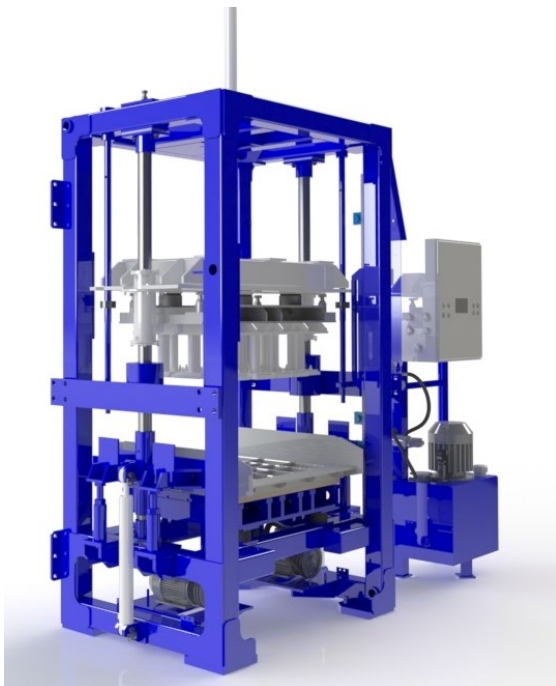


Рисунок 2.4 – Вібропрес БП-300



Рисунок 2.5 – Вібропрес ПС 150 ПА

2.4 Розрахунок робочих параметрів вібропреса

1. **Розрахунок продуктивності.** Виходячи з того, що вібропрес є циклічно діючою машиною, його продуктивність розраховуємо по формулі:

$$П = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} \cdot S_{\text{ц}},$$

де $T_{\text{ц}}$ – час одного циклу вібропреса:

$$T_{\text{ц}} = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T7 = 6 + 1 + 3 + 6 + 4 + 12 + 4 = 36 \text{ с}$$

де $T1$ – час руху мірних ящиків уперед, $T1=6$ с;

$T2$ – час руху виштовхувача вниз, $T2=1$ с;

$T3$ – час вібродозування, $T3=3$ с;

$T4$ – час руху мірних ящиків назад, $T4=6$ с;

$T5$ – час опускання пуансонів, $T5=4$ с;

$T6$ – час вібропресування, $T6=12$ с;

$T7$ – час підйому пуансона у верхнє положення, $T7=4$ с;

$S_{\text{ц}}$ – кількість продукції, що виготовляє за один цикл,

$$S_{\text{ц}} = 0,02 \cdot 6 = 0,12 \text{ м}^2$$

$$\Pi = \frac{3600}{36} \cdot 0,12 = 12 \text{ м}^2/\text{ч}$$

Циклограма роботи вібропреса приведена на рис. 2.5.

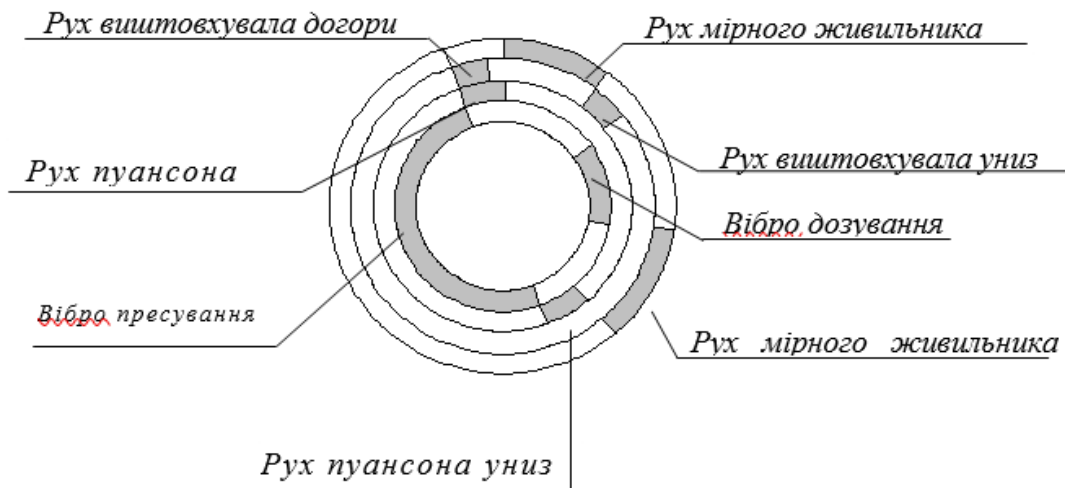


Рисунок 2.5 – Циклограма роботи преса

2. Вибір діапазону частот. Для формування виробів з мелкодисперсних бетонних сумішей висотою 40...200 мм рекомендується діапазон частот 100...50 Гц відповідно.

3. Вибір тиску й сили статичного пригруза. Рациональне значення тиску статичного пригруза для бетонної суміші :

$$P_{\text{ст}} = 0,05 \dots 0 \dots 0,1 \text{ МПа}$$

Необхідна величина статичного пригруза

$$Q_{\text{ст}} = P_{\text{ст}} \cdot S_{\text{ц}}$$

З урахуванням можливого збільшення твердості бетонної суміші приймаємо

$$P_{\text{ст}} = 0,07 \text{ МПа},$$

$$Q_{cm} = 0,07 * 10^6 * 0,12 = 8400 \text{ Н}$$

4. **Необхідна гранична амплітуда віброуючих елементів:**

$$A_{np} \leq h_{\delta} \cdot \Pi \cdot \left(1 - \frac{P_a}{P_a + P_{cm}} \right) = 0,04 \cdot 12 \cdot \left(1 - \frac{0,1}{0,1 + 0,07} \right) \approx 0,48 \text{ мм}$$

5. **Необхідна сумарна сила, що обурює, вібраторів:**

$$\frac{Q_{cm}}{Q_{дин}} \approx 0,5 \dots 0,55$$

$$Q_{дин} = \frac{Q_{cm}}{0,55} = \frac{8400}{0,55} \approx 15272 \text{ Н}$$

6. Знаходимо орієнтовно коефіцієнт твердості бетонної суміші:

$$C = \frac{(P_a + P_{cm})^{1+\frac{1}{k}} \cdot S_y}{P_a^{\frac{1}{k}} \cdot h_{\delta} \cdot \Pi}$$

$$C = \frac{(100000 + 70000)^{1+\frac{1}{1.4}} \cdot 0,09}{100000^{\frac{1}{1.4}} \cdot 0,04 \cdot 12,96} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ Н / м}$$

Для $h_{\delta} = 0,04 \text{ м}$ й $S_y = 0,09 \text{ м}^2$;

7. Знаходимо необхідну **масу віброуючих частин плитки:**

$$m_2 = \frac{Q_{дин}}{A_{пред} \cdot \omega^2} = \frac{15272}{0,00048 \cdot 628^2} = 80,6 \text{ кг}$$

8. **Необхідний сумарний статичний момент маси дебалансів вібраторів**

$$S_{gb\Sigma} = m_2 \cdot A_{пред}$$

$$S_{gb\Sigma} = 80,6 \cdot 0,00048 = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Вибираємо **2 вібратори** по знайденому статичному моменті маси системи, з умови $DO_{\Sigma} \leq K_{виб}$, (для створення спрямованих коливань).

9. **Необхідне зусилля на штоку гідроциліндра:**

$$Q_{гидр} = Q_{cm} - m_2 g = 8400 - 80,6 \cdot 9,8 = 7610 \text{ Н}$$

11. **Необхідний діаметр поршня** при тиску в гідромагістралі $p_{гидр} = 2 \text{ МПа}$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{гидр}}{\pi \cdot p_{гидр}}} = \sqrt{\frac{7610 \cdot 4}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^6}} \approx 0,069 \text{ м}$$

Приймаємо 1 гідроциліндр $d = 70 \text{ мм} = 0,07 \text{ м}$.

12. **Потужність:** споживана бетонною сумішшю від вібратора:

$$N_1 = 12 S_y \cdot \omega \cdot A_{пред} = 12 \cdot 0,12 \cdot 628 \cdot 0,00048 = 4,3 \text{ кВт}$$

Приймаємо вібратор з потужністю електродвигуна 4,5 кВт.

13. **Частота вібробуджувача**

$$\omega_{max} = 2 \cdot \pi \cdot f = 6,28 \cdot 3,14 \cdot 100 = 628 \text{ с}^{-1}$$

Для частот у діапазоні 400...500 Гц при ущільненні бетонних сумішей досить мати амплітуду результуючих коливань порядку 0,3...0,1 мм або 0,0003...0,0001м.

14.Визначаємо розміри пружних опор для матриці:

$$C_{\Sigma} = m_1 \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{1}{30} \dots \frac{1}{60} \right) = 150 \cdot 628^2 \left(\frac{1}{30} \dots \frac{1}{60} \right) \approx (2,0 \dots 1,0) \cdot 10^6 \text{ Н / м}$$

Сумарна маса вібруючих частот в матриці повинна перевищувати сумарну масу небажаного діапазону $m_1 > m_2$. Вибираємо конструктивно $m_{\text{матр}} \approx 150$.

При числі пружинних опор $n_m = 2$ коефіцієнти твердості однієї опори:

$$C_{m1} = \frac{C_{\Sigma}}{n_m} = \frac{(2,0 \dots 1,0)}{2} \cdot 10^6 = (0,5 \dots 1) \cdot 10^6 \text{ Н / м.}$$

Вибираємо циліндричні пружні опори з параметрами

$$D_{\text{опм}} = 70 \text{ мм} = 0,07 \text{ м} (R = 0,04 \text{ м}).$$

З модулем $G_g = 1,6 \text{ МПа}$.

Твердість при стиску $C_{m1} \approx 3\pi \cdot G_g \cdot \frac{R^2}{h}$

Необхідна висота гумового елемента при $C_{m1} = 0,37 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$

$$h = \frac{3\pi G_g \cdot R^2}{C_{m1}} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 0,04^2}{0,5 \cdot 10^6} \approx 0,048 \text{ м} = 48 \text{ мм.}$$

Раціональні розміри пружних елементів $D = 70 \text{ мм}$; $h = 50 \text{ мм}$.

2.5 Розрахунок основних параметрів вібропривода

Визначення параметрів дебалансів.

Вихідні дані для розрахунку

матриця:

- маса матриці – $m_m = 52 \text{ кг}$;
- маса бетонної суміші – $m_{\text{б.см.}} = \rho_{\text{б.см.}} \cdot V \cdot n = 2400 \cdot 0,00648 \cdot 6 = 92 \text{ кг}$;
- щільність бетонної суміші – $\rho_{\text{б.см.}} = 2400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- об'єм виробу - $V = L \times B \times H = 250 \times 432 \times 60 = 6480000 \text{ мм}^3 = 0,00648 \text{ м}^3$;
- кількість формуємих виробів - $n_{\text{изд.}} = 6$;

пуансон:

- m_n – маса пуансона ($m_n = 30 \text{ кг}$)

вібратор :

$$m_{\Sigma \text{в}} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ кг}$$

Маса вібруючих частин:

$$m_{\text{вібр.ч.}} = m_m + m_n + m_{\text{б.см.}} + m_{\Sigma \text{в}} = 52 + 30 + 92 + 40 = 214 \text{ кг}$$

необхідні параметри вібрації:

а) матриця (частота) – $f_m = 100 \text{Гц}$;

амплітуди:

а) матриця (амплітуда) – $A_m = 0,21 \text{мм} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{м}$;

необхідний тиск пресування:

$$P_{\text{прес.}} = 0,05 \dots 0,07 \text{МПа} ;$$

$$P_{\text{системи.}} = 20 \text{атм} = 20 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 2 \text{МПа} ;$$

$$D_{\text{цилиндра}} = 60 \text{мм}, \quad n_{\text{цилиндра}} = 1 ;$$

Площина формуємого виробу :

$$V = L \times B = 250 \times 432 = 108000 \text{мм}^2 = 0,0108 \text{м}^2 ;$$

$$V = L \times B \times n_{\text{изд.}} = 250 \times 432 \times 60 = 6480000 \text{мм}^2 = 0,0648 \text{м}^2$$

2.6 Розрахунок вібропривода

Возмущающие силы вибраторів (рис. 2.5):

матриці: $F_{\text{возм.}\Sigma} = m_{\text{вibr.ч.}} \cdot \omega^2 \cdot A_{m1} = 132,8 \cdot 628^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} = 55844774,4 \cdot 10^{-4} = 10998 \text{Н}$

$$F_{\text{возм.1вibr.}} = \frac{F_{\text{возм.}\Sigma}}{2} = 5499 \text{Н}$$

$$\omega = 2\pi f = 6,28 \cdot 100 = 628 \text{ рад/с}$$

Статичні моменти мас вібраторів:

матриці:

$$S_{\text{деб.}\Sigma} = m_{\text{вibr.ч.}} \cdot A_m = 139,28 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} = 0,029 \text{кг} \cdot \text{м}$$

$$S_{\text{деб.1}} = \frac{S_{\text{деб.}\Sigma}}{n_{\text{деб.}}} = \frac{0,029}{2} = 0,014 \text{кг} \cdot \text{м}$$

2.7 Розрахунок приводного вала

Навантаженою частиною вала є дебаланс. Отже розрахуємо необхідний перетин дебаланса, що витримає радіальну збуджуючу силу F_v (рис. 2.6).

Матеріал дебаланса та вала Сталь 45 $[\sigma] = 100 \text{МПа}$.

Збуджуюча сила від дебалансу:

$$F_v = 5499 \text{Н}$$

Отже, радіальні навантаження на опори підшипників:

$$R_a = R_v = 5499 \text{Н}$$

Крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = N_{\text{дв}} / \omega = 4500 / 628 = 7,2 \text{Н} \cdot \text{м}$$

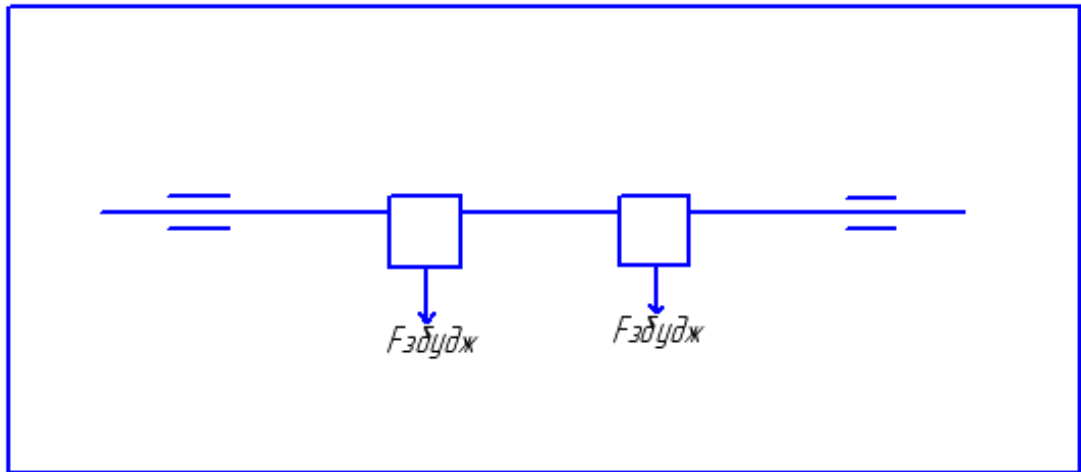


Рисунок 2.5 – Схема нової конструкції вібраторів.

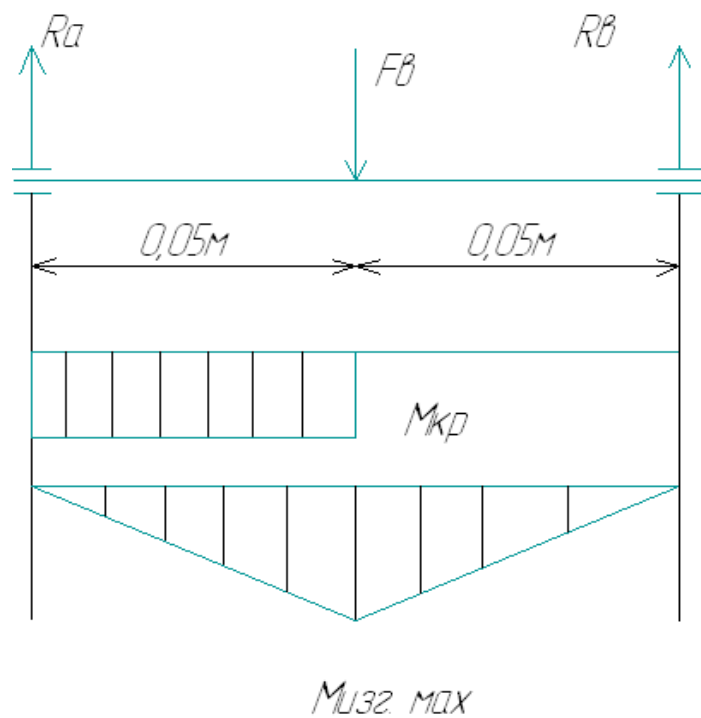


Рисунок 2.6 – Епюра напружень валу

Згинний момент максимальний:

$$M_{изг.мах} = F_b / 2 * l = 5499 / 2 * 0,05 = 137,5 \text{ Н*м}$$

Будуємо епюри крутних та згинних моментів.

Визначаємо необхідний діаметр валу за згинним моментом:

$$d_e \geq \sqrt[3]{\frac{M_{изг.мах}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{137,5 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 100}} = 23,2 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр який витримає згинні та крутні моменти дорівнює $d_B = 23,2 \text{ мм}$. З конструктивних думок приймаємо вал $d_B = 70 \text{ мм}$.

Тепер розрахуємо необхідний діаметр вала, який витримає напруження кручення:

$$d_s \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{кр}}{3,14 [\tau]_{кр}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1,37 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 20}} = 4 \text{ мм}$$

$$[\tau]_{кр} = 20 \text{ МПа}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d_B = 25 \text{ мм}$.

2.8 Розрахунок і вибір гідроциліндрів

Для забезпечення прямолінійного поступального руху застосовують силові циліндри одnobічної й двосторонньої дії. У циліндрі одnobічної дії висування штока відбувається під дією тиску рідини, а зворотний його рух - під дією маси виконавчого механізму, з яким з'єднаний циліндр. У циліндрі двосторонньої дії рух штока в обох напрямках відбувається тиском рідини.

Вибір гідроциліндрів та їх ходу.

Для одержання доброякісної плитки необхідно забезпечити тиск штампа на виріб не менш $F = 8000 \text{ Н}$. З огляду на, що в заводський гідромережі $q_{гидро.} = 2 \text{ МПа}$, то можна обчислити необхідну площу гідроциліндра:

$$P_{\max} = F_u \cdot q_{пнев.}$$
$$F_u = \frac{P_{\max}}{q_{гидро.}} = \frac{8000}{2} = 4000 \text{ мм}^2$$

Знаючи площу можна знайти діаметр гідроциліндра:

$$F_u = \frac{\pi \cdot d_u^2}{4};$$
$$d_u = \sqrt{\frac{4 \cdot F_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{3.14}} = 71,4 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр верхнього гідроциліндра $d_{ц} = 80 \text{ мм}$

Знаходимо діаметр нижнього гідроциліндра. Приймаємо необхідне зусилля, для виштовхування виробу з форми $P_{\max} = 8000 \text{ Н}$, таке як і для пресування, тоді:

Приймаємо діаметр нижнього гідроциліндра $d_{ц} = 80 \text{ мм}$

Аналогічно прораховуються діаметри гідроциліндра для кареток і з метою уніфікації приймаємо $d_{ц} = 80 \text{ мм}$

Довжина гідроциліндра визначається ходами робочих органів.

Хід верхнього гідроциліндра

$$L_y = \delta_1 + \delta_2 + h = 5 + 30 + 130 = 165 \text{ мм}$$

де δ_1 – переміщення штампа усередині матриці під час ущільнення суміші, $\delta_1=5\text{мм}$;

δ_2 – товщина штампа і його кріплення до штока гідроциліндра, $\delta_2=30\text{мм}$;

h – висота каретки, $h=130\text{мм}$

Приймаємо $L_{ц1}=170\text{мм}$

Хід нижнього гідроциліндра:

$$L_{ц2} = \delta_1 + h_{пл} = 5 + 120 = 125 \text{ мм}$$

де $h_{пл}$ – висота виробу, $h_{пл}=120\text{мм}$

Приймаємо довжину гідроциліндра $L_{ц2}=125\text{мм}$

Довжина циліндрів для переміщення кареток із преспорошком:

$$L_{ц3} = b_{ст} = 450 \text{ мм}$$

де $b_{ст}$ – довжина стола, $b_{ст}=450\text{мм}$

Приймаємо довжину гідроциліндра $L_{ц3}=450\text{мм}$

Отримані результати зведемо в таблицю 2.1.

Зусилля, що розвивається гідроциліндром, при подачі рідини в поршневу або штокову порожнину:

$$P_{ш} = p \cdot \pi \cdot (d_{ц}^2 - d_{ш}^2) / 4$$

де p – тиск у поршневій порожнині, $p=2 \text{ МПа}$;

$d_{ц}$ – внутрішній діаметр гідроциліндра, $d_{ц}=90 \text{ мм}$;

$d_{ш}$ – діаметр штока гідроциліндра, $d_{ш}=35\text{мм}$

$$P_{ш} = 2 \cdot 3.14 \cdot (80^2 - 35^2) / 4 = 8 \text{ кН}$$

Товщина стінок сталевго гідроциліндра:

$$\delta = \frac{d_{ц}}{2} \left(\sqrt{\frac{[\sigma] + p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{[\sigma] - p \cdot (1 + 2 \cdot \mu)}} - 1 \right)$$

де $[\sigma]$ – допускається напруження, що, на розтягання, $[\sigma]=40\dots60\text{МПа}$;

μ – коефіцієнт Пуасона (для сталі $\mu=0.3$),

$$\delta = \frac{90}{2} \left(\sqrt{\frac{40 + 2 \cdot (1 - 2 \cdot 0.3)}{40 - 2 \cdot (1 + 2 \cdot 0.3)}} - 1 \right) \approx 2 \text{ мм}$$

Шток поршня розраховують залежно від характеру роботи на тиск звичайно з урахуванням можливості поздовжнього вигину, по формулі:

$$\sigma = \frac{P}{F \cdot \varphi}, \text{ МПа}$$

де P – зусилля на штоку, кН;

F – площа розтину штока:

$$F = \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 35^2}{4} = 961,6 \text{ мм}^2$$

Гнучкість стрижня розраховується по формулі:

$$\lambda = \frac{l_p}{r_i},$$

де l_p – розрахункова довжина стрижня, $l_p=170\text{мм}$

r_i – мінімальний радіус інерції розтину:

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{F}}$$

де I – момент інерції розтину щодо нейтральної осі:

$$I = \frac{\pi \cdot d_u^4}{64} = \frac{3.14 \cdot 35^4}{64} = 73624 \text{ мм}^4$$

$$r_i = \sqrt{\frac{73624}{961,6}} = 8,75 \text{ мм}$$

$$\lambda = \frac{170}{8,75} = 19,4$$

приймаємо $\lambda=20$, тоді по таблиці знаходимо коефіцієнт $\varphi=1,00$

$$\sigma = \frac{8 \cdot 10^3}{961,6 \cdot 1,0} = 8,4 \text{ МПа}$$

так як $\sigma \ll [\sigma]$ для сталі Ст 3, тоді діаметр штока підходить.

Штоки інших гідроциліндрів навантажені значно менше, тому їхня перевірка не робиться.

Таблиця 2.1 – Розрахункові розміри гідроциліндрів

Циліндр	$d_{ц}$, мм	$d_{ш}$, мм	$P_{ш}$, кН
Циліндр пуансона	80	35	8
Циліндр віброднища	80	35	8
Циліндр переміщення кареток	80	35	8

2.9 Розрахунок гідравлічної системи.

Робочий об'єм системи.

$$q_1 = 2 \cdot h \cdot \pi \cdot d_2 \cdot b \cdot \frac{1}{2};$$

де $d=54$ мм – ділильний діаметр ;

$b=15$ мм – ширина зубчастого вінця;

$m=3$ мм - модуль зубчастої шестерні;

h – висота зуба;

$$h = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 3 = 6,75 \text{ мм.}$$

$$q_1 = 2 \cdot 6,75 \cdot 3,14 \cdot 54 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} = 17167,95 \text{ мм}^3;$$

Подача шестеренного насоса:

$$Q = k_n \cdot q_1 \cdot f \text{ мм}^3/\text{с};$$

де $f = 35 \text{ Гц} = 35 \text{ с}^{-1}$ частота обертання зубчастої шестерні.

$k_n = 0,7$ коефіцієнт наповнення.

$$Q = 0,7 \cdot 17167,95 \cdot 35 = 420614,8 \text{ мм}^3/\text{с} = 0,420 \text{ л/с.}$$

Приймаємо :

робочий тиск $p = 2 \text{ МПа}$

масло індустріальне 30 або 45

Розраховуємо діаметр підведених трубопроводів:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}};$$

де Q – подача;

V – рекомендована швидкість руху робочої рідини;

$$V = 2 \text{ м/с.} = 2000 \text{ мм/с.}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 420614,8}{3,14 \cdot 2000}} = \sqrt{267,9} = 16,2 \text{ мм}$$

Зусилля затягування при повному перекриванні каналу:

$$F \geq p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,5 \cdot \frac{3,14 \cdot 16,2^2}{4} = 515$$

2.10 Розрахунок і вибір двотаврів для верхньої траверси

У даному розрахунку верхня траверса розглядається як балка на двох опорах. Звідси вирішуємо звичайне завдання по опорі матеріалів:

$$P = 8000 \text{ Н};$$

$$a = b = 325 \text{ мм}$$

$$W = \frac{M}{[\sigma]}, \text{ см}^3$$

де M – згинальний момент;

$[\sigma]$ – допустиме напруження на вигин для $C_T 3$ $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$.

Для знаходження реакцій опор становимо рівняння:

$$-R_A + R_B(a + b) = 0$$

$$R_A = \frac{P \cdot a}{a + b} = \frac{8000 \cdot 325}{325 + 325} = 4000 \text{ Н}$$

$$R_A = R_B = 4000 \text{ Н}$$

Знаходимо максимальний згинальний момент у балці:

$$M_{\max} = R_A \cdot a = 4000 \cdot 325 = 130000 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\max} = 13000 \text{ Н} \cdot \text{см}$$

$$[\sigma] = 100 \text{ МПа} = 1000 \text{ кг/див}^3$$

$$W = \frac{13000}{1000} = 13 \text{ см}^3$$

Приймаємо швелер №10

Маркування: Швеллер $\frac{10 \text{ГОСТ} 8240 - 72}{\text{Ст} 3 \text{ГОСТ} 535 - 58}$

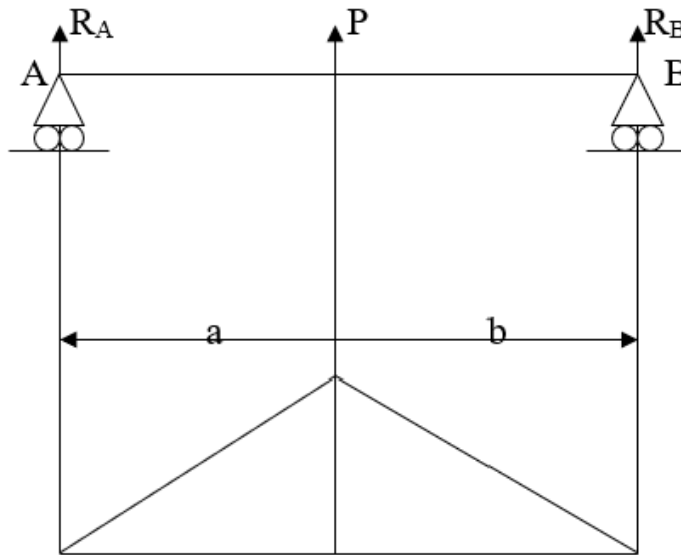


Рисунок 2.7 – Схема для розрахунку

2.11 Розрахунок шпонок

Обираємо шпонку призматичну (Рис. 2.8).

Вибираємо b і h залежно від діаметра вала .

Для діаметра вала 37 мм:

$b = 5 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$. $t = 2,5 \text{ мм}$ – глибина паза у валу, $t_1 = 2,5 \text{ мм}$ – глибина паза у втулці.

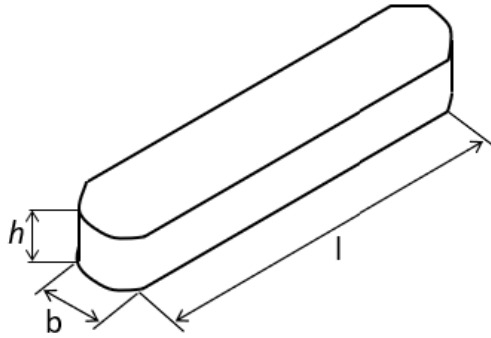


Рисунок 2.8 – Схема шпонки

Шпонка в процесі роботи повинна витримувати напруги зрізу й зминання. Для визначення довжини шпонки розрахуємо силу, що діє на шпонку.

$$P = \frac{M_{кр}}{R_{вала}} = \frac{1,37 Н \cdot м}{0,0185 м} = 74 Н.$$

Довжину шпонки розраховуємо виходячи з її міцності на зріз $[\tau_{зрізу}] = 35 \text{ МПа}$.

$$\tau = \frac{P}{l \cdot b} = \frac{74}{44 \cdot 35} = 0,04 \text{ МПа} \leq 35 \text{ МПа}$$

Приймаємо довжину шпонки: $l = 44 \text{ мм}$.

Перевіряємо обрану шпонку на зминання ($[\sigma_{зминання}] = 60 \text{ МПа}$).

$$\sigma = \frac{P}{l \cdot t_1} = \frac{74}{44 \cdot 2,5} = 0,6 \text{ МПа} \leq 60 \text{ МПа},$$

приймаємо довжину шпонки зі стандартного ряду: $l = 44 \text{ мм}$.

Остаточні розміри шпонки:

$$b = 5 \text{ мм}, h = 5 \text{ мм}, t = 2,5 \text{ мм}, t_1 = 2,5 \text{ мм}, l = 44 \text{ мм}.$$

2.12 Розрахунок підшипників у випадку використання підшипників

Необхідно підібрати підшипники кочення для опор дебаланса, який розташовано на привідному валу вібратора. Частота обертання вала 3000 об/хв – для першого випадку $f=50 \text{ Гц}$, 6000 об/хв – при $f=100 \text{ Гц}$.

Потрібний ресурс підшипника $L_h=10000$ годин. Діаметр поверхонь, на які ставлять підшипники $d=40 \text{ мм}$ Максимальні діючі сили на підшипник $Fr1=Fr2=2250 \text{ Н}$.

Умови застосування – звичайні. Очікувана температура роботи - 60°C .

Визначаємо коефіцієнт еквівалентності навантаження K_e . Для циклічного режиму навантаження $K_e=0,63$.

Розраховуємо **еквівалентні навантаження**:

$$Fr1 = K_e \cdot Fr1_{max} = 0.63 \cdot 2250 = 1417H.$$

Попередньо обираємо підшипник голчатий серії 074000.

Для обраних підшипників за таблицею знаходимо: C_r та C_{or} базову динамічну та статичну вантажопідйомність відповідно $C_r=32000H$, $C_{or}=17800H$.

Визначаємо еквівалентне радіальне навантаження за формулою:

$$Pr = Fr \cdot V \cdot K_b \cdot K_t = 1417 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1560H$$

де V – коефіцієнт обертання кільця($V=1$ -внутрішнє рухоме);

K_b – коефіцієнт безпеки;

K_t – температурний коефіцієнт($t < 100^\circ C$).

Визначаємо розрахунковий ресурс підшипника: (для випадку $f=50Гц$)

$$L_{oh} = a_1 \cdot a_2 \cdot \left[\frac{C_r}{Pr} \right]^k \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left[\frac{32000}{1560} \right]^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 3000} = 33560 \text{ годин}$$

(для випадку $f=100Гц$)

$$L_{oh} = a_1 \cdot a_2 \cdot \left[\frac{C_r}{Pr} \right]^k \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 1 \cdot 0,7 \cdot \left[\frac{32000}{1560} \right]^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 6000} = 16780 \text{ годин}$$

Так як розрахунковий ресурс підшипника більший за необхідний ($16780 \gg 10000$), попередньо обраний підшипник придатний при заданому ресурсі надійності.

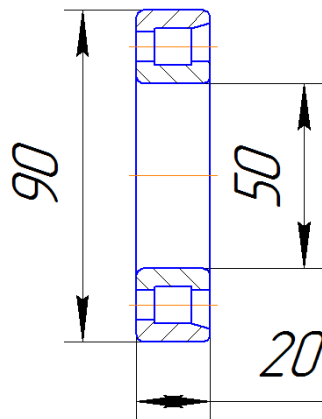


Рисунок 2.9 – Радіальний роликовий серії 074000.

РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Система технічного обслуговування машини

Система технічного обслуговування і ремонту (СТОіР) технологічного обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів спрямована на забезпечення ефективної та безперебійної роботи машин і механізмів. Її основною метою є підтримання високої експлуатаційної надійності обладнання при мінімальних витратах трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів.

СТОіР включає комплекс профілактичних заходів, спрямованих на контроль технічного стану обладнання, своєчасне виявлення несправностей і відновлення зношених деталей та вузлів. Це дозволяє запобігти роботі машин у режимах прогресуючого зношування та знизити ризик аварійних відмов.

Система передбачає планування ремонтних робіт, визначення потреби в запасних частинах, матеріалах і трудових ресурсах, а також встановлення нормативів трудомісткості для всіх видів ремонтів. Крім того, визначаються структура ремонтного циклу та перелік типових і спеціалізованих робіт, що виконуються під час технічного обслуговування і ремонту.

Основою СТОіР є поєднання технічного обслуговування (ТО) з планово-попереджувальними ремонтами (ППР), що забезпечує підтримання обладнання у працездатному стані протягом усього терміну експлуатації.

Основними напрямками вдосконалення СТОіР є:

- підвищення якості технічного обслуговування та відповідальності персоналу за надійну роботу обладнання;
- удосконалення конструкцій машин і впровадження заходів з модернізації;
- централізація та раціональний розподіл ремонтних робіт між виробничими й спеціалізованими ремонтними підрозділами;
- покращення планування ремонтів із застосуванням сучасних економіко-математичних методів;
- використання вузлового та агрегатного методів ремонту;
- впровадження сучасних технологій відновлення деталей і вузлів;
- аналіз причин аварійних простоїв та підвищеного зношування обладнання;
- зменшення матеріальних і трудових витрат на виконання ремонтів;

- централізоване виготовлення та спеціалізація виробництва запасних частин;
- впровадження типових технологічних процесів ремонту;
- механізація важких ремонтних операцій та використання спеціалізованого інструменту;
- підвищення кваліфікації ремонтного персоналу та вдосконалення системи оплати праці.

Таким чином, ефективна система технічного обслуговування і ремонту є важливою складовою забезпечення стабільної роботи технологічного обладнання та підвищення економічної ефективності виробництва.

3.2 Вибір методів організації та проведення капітального ремонту

Залежно від масштабу підприємства, типу виробництва та структури ремонтної служби застосовують централізований, децентралізований або змішаний метод організації ремонту обладнання. Вибір конкретного методу визначається видом і складністю устаткування, його потужністю, технічним станом ремонтної бази, а також чисельністю та кваліфікацією ремонтного персоналу.

Для даного підприємства доцільно застосувати змішаний метод організації ремонту. За такого підходу технічне обслуговування та поточні ремонти виконуються ремонтною бригадою цеху під керівництвом механіка, а капітальні ремонти проводяться силами ремонтно-механічного цеху або із залученням спеціалізованих ремонтних організацій.

Після вибору способу організації ремонтних робіт визначають метод проведення ремонту конкретного обладнання. Під методом ремонту розуміють форму організації праці та порядок виконання ремонтно-відновлювальних операцій.

Залежно від конструктивних особливостей машин, умов експлуатації, можливостей ремонтної бази та забезпечення запасними частинами застосовують:

- індивідуальний метод ремонту;
- знеособлений метод;
- змішаний метод.

Для даного виробництва найбільш доцільним є знеособлений метод ремонту, який характеризується високою ефективністю та скороченням тривалості ремонтних робіт. Сутність цього методу полягає у використанні заздалегідь відремонтованих або нових вузлів і деталей із оборотного фонду, що дозволяє виконувати складання обладнання без очікування відновлення окремих елементів.

Застосування знеособленого методу забезпечує:

- зниження трудомісткості ремонтних робіт;
- скорочення тривалості простою обладнання;
- підвищення якості ремонту;
- зменшення собівартості ремонтних операцій;
- підвищення продуктивності ремонтної служби.

Таким чином, використання змішаного способу організації ремонту у поєднанні зі знеособленим методом проведення капітального ремонту є найбільш раціональним рішенням для забезпечення ефективної експлуатації технологічного обладнання підприємства.

3.3 Розрахунок трудомісткості ремонтних робіт

Трудомісткість ремонтних робіт механічної частини визначається по СТОІР.

$$Q_{\text{общ.табл.}} = 550 \text{ чол\год.}$$

Розподіл трудомісткості K_p по видах робіт :

Слюсарних

$$Q_{\text{сл}} = Q_{\text{общ.}} \cdot k_{\text{сл.}} = 550 \cdot 65\% = 358 \text{ чол\год,}$$

де $Q_{\text{сл.}}$ – коефіцієнт враховуючі частку слюсарних

Розрахунок **часу простою** устаткування в ремонті:

$$n = Q_{\text{общ.}} \cdot K_v / (K_n \cdot K_{\text{пер}} \cdot t_{\text{см}} \cdot n) = 550 \cdot 18 / 50 \cdot 1,2 \cdot 8 \cdot 2 = 10,3 \text{ діб,}$$

де K_n – коефіцієнт норми простою устаткування в ремонті=50;

K_v – норма часу на одиницю коефіцієнта;

$K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт переробки норм =1,15-1,25;

$t_{\text{см}}$ – тривалість зміни =8год.

n – кількість змін=1.

Кількість розрядів

$$m_1 = \frac{Q_{\text{сум}}}{S_y \cdot K_{\text{пер}}} = \frac{29.4}{2 \cdot 1,2} \cdot 0.6 = 7.35 = 8$$

$$m2 = \frac{Q_{\text{сум}}}{S_y \cdot K_{\text{пер}}} = \frac{29.4}{2 \cdot 1,2} 0.4 = 5.9 = 6$$

$$Q_{\text{сум}} = \frac{Q_{\text{сл}}}{n - c} 0.6 = \frac{358}{10.3 - 3} 0.6 = 29.4$$

$S_y = 2$ – удільна норма на одиниця розряду.

Виходячи з кількості розряду в зміну і складності виконуваних слюсарних робіт формується бригада. У більшості випадків чисельність ремонтної бригади в зміну не повинна бути менше 2 і більше 10 чоловік. Розряд бригадира не повинний бути менше п'ятого. Він забезпечує організацію робіт із усіх змін. Результати зводяться в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Трудомісткість ремонтних робіт

Кількість змін	Чисельність бригади чол.	Порозрядний склад бригади						Число од. розряду в зміні	Трудомісткість робіт	
		1уч	2 всп	3	4	5	6		В зміні	За ремонт
1	2			1		1		8	18	126
2	2			2				6	12	84

3.4 Розробка схеми технологічного процесу капітального ремонту преса

Технологічний процес капітального ремонту машин включає комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на відновлення працездатності обладнання та забезпечення його подальшої надійної експлуатації. До складу такого процесу входять розроблення технології ремонту, визначення послідовності виконання операцій, підбір необхідного оснащення, нормування трудових витрат, а також вибір методів контролю якості виконаних робіт.

Для великогабаритного та унікального обладнання технологічний процес ремонту розробляється детально з оформленням технологічних карт, специфікацій деталей і завдань на виготовлення спеціальних пристроїв. У більшості випадків технологічна підготовка ремонту полягає у складанні схеми послідовності виконання основних ремонтних операцій.

Під час проведення капітального ремонту технологічного обладнання особливе значення мають підготовчі роботи, особливо у випадках, коли ремонт виконується безпосередньо на місці експлуатації машини.

До основних підготовчих заходів належать:

1. складання попередньої відомості дефектів;
2. визначення потреби у запасних частинах і матеріалах;
3. перевірка наявності технічної документації;
4. підготовка інструментів, пристроїв і засобів механізації;
5. розроблення проєкту виконання ремонтних робіт.

У проєкті проведення ремонту визначаються:

- послідовність виконання робіт;
- способи демонтажу та монтажу вузлів;
- необхідність застосування вантажопідйомного обладнання;
- склад ремонтної бригади;
- місця встановлення інструментів та пристроїв;
- заходи з охорони праці та безпеки.

Для капітального ремонту преса підготовчі роботи включають складання попередньої дефектної відомості, до якої заносять можливі несправності та ступінь зношування основних вузлів. До найбільш поширених дефектів належать:

- зношування штока гідروциліндра;
- пошкодження або зношування ущільнень;
- дефекти трубопроводів гідросистеми;
- заклинювання гідроциліндрів;
- зношування футерувальних елементів;
- порушення геометрії робочих поверхонь.

Виявлення дефектів здійснюється шляхом зовнішнього огляду, перевірки роботи обладнання в режимі холостого ходу та під навантаженням, а також контролю параметрів гідросистеми.

Після визначення технічного стану преса уточнюється перелік необхідних запасних частин, комплектуючих та матеріалів для ремонту. Одночасно перевіряється наявність технічної документації, ремонтного оснащення, спеціального інструменту та знімних пристроїв.

Схема технологічного процесу капітального ремонту залежить від прийнятого методу організації ремонту, конструктивних особливостей преса, ступеня його зношування та забезпеченості запасними частинами.

Типова послідовність виконання капітального ремонту преса включає:

1. підготовку обладнання до ремонту;
2. демонтаж вузлів і агрегатів;
3. очищення та дефектацію деталей;
4. відновлення або заміну зношених елементів;
5. складання вузлів;
6. монтаж обладнання;
7. регулювання та налагодження;
8. випробування преса під навантаженням;
9. введення обладнання в експлуатацію.

Рационально організований технологічний процес капітального ремонту дозволяє скоротити тривалість простою обладнання, підвищити якість ремонтних робіт та забезпечити надійну і безпечну експлуатацію преса після ремонту.

Здача обладнання в ремонт та приймання після ремонту

Система технічного обслуговування і ремонту обладнання визначає порядок підготовки машин до ремонту, проведення ремонтних робіт та введення обладнання в експлуатацію після ремонту. Перед передачею машини в ремонт проводять перевірку її роботи на холостому ходу та під навантаженням, що дозволяє оцінити технічний стан і виявити основні несправності.

До початку капітального ремонту відділ головного механіка виконує комплекс підготовчих заходів: оформлює дефектну відомість, забезпечує наявність необхідних матеріалів, запасних частин та інструменту, готує робочі місця і підйомно-транспортне обладнання, а також складає календарний графік виконання ремонтних робіт. У разі залучення спеціалізованої ремонтної організації додатково розробляється проєкт організації ремонту та комплектуються ремонтні бригади.

Приймання обладнання в ремонт оформлюється відповідним актом, у якому фіксують технічний стан машини, її комплектність, наявні дефекти та термін експлуатації після попереднього ремонту. Основним документом для проведення капітального ремонту є дефектна відомість, що визначає обсяг робіт, матеріальні витрати та трудомісткість ремонту.

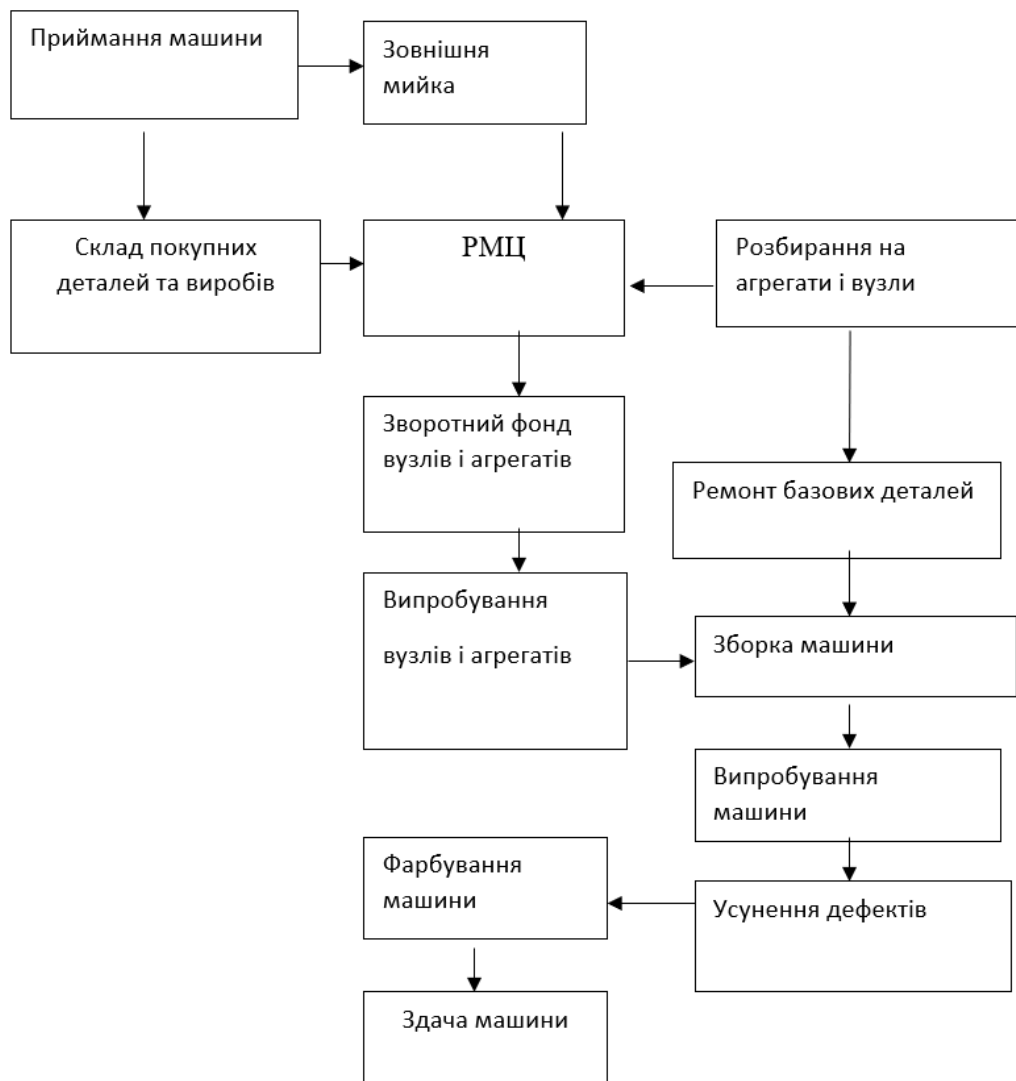


Рисунок 3.1 – Схема технологічного процесу ремонту машини при знеособленому методі організації ремонту

Після завершення ремонту виконують збирання машини, яке здійснюється із застосуванням методу повної взаємозамінності деталей та вузлів. Це дозволяє скоротити тривалість ремонту, підвищити якість складання та забезпечити рівномірне завантаження ремонтного персоналу. Для скорочення простоїв обладнання використовують вузловий метод ремонту із застосуванням оборотного фонду агрегатів і вузлів.

Після складання проводять пробний запуск та обкатку обладнання спочатку на холостому ході, а потім під навантаженням. Під час випробувань контролюють роботу механізмів, температуру нагрівання вузлів, рівень вібрації,

тиск, витрати мастильних матеріалів та продуктивність машини. Навантаження збільшують поступово у декілька етапів відповідно до технічних вимог.

Після успішного завершення випробувань виконується остаточна заміна мастильних матеріалів та оформлюється приймально-здавальний акт. Приймання обладнання після ремонту здійснює спеціальна комісія у складі головного інженера, головного механіка, представників ремонтного підрозділу, служби охорони праці та виробничого цеху. Комісія перевіряє якість виконаних робіт, технічний стан обладнання та допускає машину до подальшої експлуатації.

3.5 Експлуатація та обслуговування комплексу преса

Пресовий комплекс використовується на підприємствах промисловості будівельних матеріалів для виготовлення бетонних виробів різного призначення. Обладнання застосовують для виробництва тротуарної плитки, фігурних елементів мощення та плит різних форм і розмірів відповідно до вимог нормативних документів.

Під час роботи преса контролюють основні технологічні параметри: зусилля пресування, тиск у гідросистемі, тривалість циклу формування та продуктивність обладнання. При виготовленні тротуарної плитки цикл формування становить приблизно 20–50 с, а встановлена потужність електродвигуна преса – 1,1 кВт.

Експлуатація обладнання здійснюється відповідно до заводських інструкцій, правил технічної експлуатації, вимог охорони праці та промислової санітарії. Для забезпечення надійної роботи машини проводять регулярний технічний огляд, який включає комплекс профілактичних заходів, спрямованих на підтримання обладнання у справному стані та попередження передчасного зносу деталей.

Технічне обслуговування передбачає очищення обладнання, перевірку та підтягування кріпильних елементів, виконання контрольно-регулювальних робіт, усунення дрібних несправностей, а також своєчасне змащування вузлів тертя. Особливу увагу приділяють болтовим з'єднанням, що працюють під дією динамічних навантажень, оскільки вони повинні бути оснащені засобами захисту від самовідгвинчування.

Контрольно-регулювальні роботи проводять після перевірки технічного стану вузлів і механізмів преса. У процесі контролю виявляють дефекти, виконують необхідне регулювання та усувають несправності, що можуть вплинути на стабільність роботи обладнання. Для підвищення ефективності технічного обслуговування використовують спеціальні технологічні та контрольно-регулювальні карти.

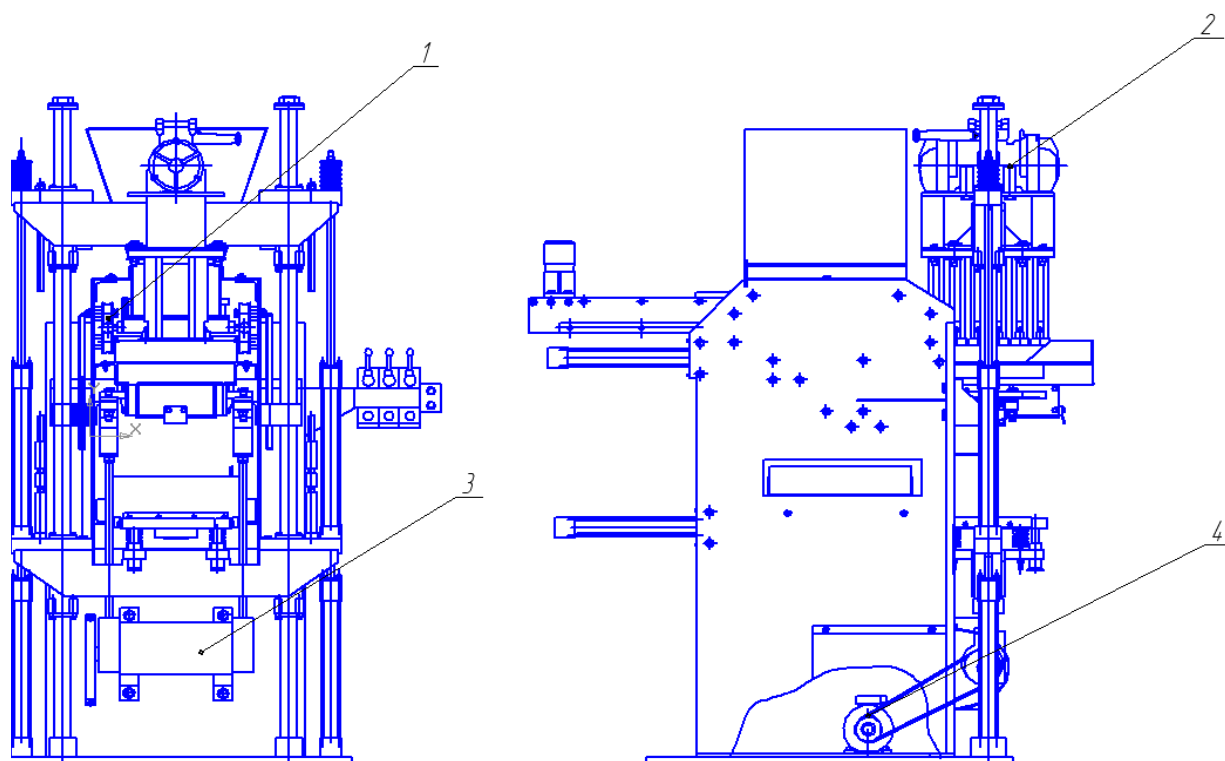


Рисунок 3.2 – Схема змащення

Таблиця 3.1 – Карта змащення

№	Найменування	Засіб змащення	Марки масел та робочих рідин
1	Корпус підшипника	Набивання	Солідол СКа 2/7-2 ГОСТ 4366-76
2	Верхній вібратор		1-13(жирова) або ЦИАТИМ 201 ГОСТ 6267-74
3	Віброзбуджувач	Набивання	Солідол СКа 2/7-2 ГОСТ 4366-76
4	Двигун		1-13(жирова) або ЦИАТИМ 201 ГОСТ 6267-74

3.6 Технологія ремонту валу віброзбуджувача вібропресу

Розрахунок трудомісткості технологічних операцій

Для складання маршрутної карти необхідно скласти послідовний перелік виконуваних технологічних операцій з розрахунком штучно-калькуляційного часу, вибором розряду роботи.

1 Заварити шпонковий паз (поз. 1а) ручним електрозварюванням електродом типу Озн-250. Роботу виконує зварювальник 4 розряду.

Трудомісткість визначається зі співвідношення.

$$T_{\text{шт}} = \frac{60 \cdot Q_m}{a_n \cdot I_{\text{св}}} K_v = \frac{60 \cdot 0,03}{0,008 \cdot 100} \cdot 1,5 = 3,375 \text{ хв}$$

де Q_m – маса наплавленого металу з урахуванням втрат

($K_{\text{п}} = 1,25 - 1,5$), кг;

$a_{\text{п}}$ – коефіцієнт наплавлення, кг/А·г, рівний для ручного наплавлення електродугою 0,008; електрошлакового - 0,016; вібродугового – 0,012;

$I_{\text{св}}$ – величина зварювального струму, А, рівна для ручної електродугового наплавлення дорівнює 100–160; електрошлакового – 250–300; вібродугового – 150–200;

K_v – коефіцієнт втрат часу на організаційно-технічне обслуговування, рівний 1,5.

$$T_{\text{шт К}} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 3,375 \cdot 1,08 = 3,65 \text{ хв.}$$

2 Зачистити вручну шліфувальним кругом поверхню наварювання під шліфовку. Роботи виконує слюсар 3 розряду.

Визначимо трудомісткість:

$$T_{\text{шт}} = \frac{L \cdot h}{n \cdot c} = \frac{44 \cdot 1}{5 \cdot 3} = 2,8 \text{ хв,}$$

де L – довжина шпоночного паза. мм

h – припуск на обробку, мм

n – число проходів з розрахунку 0,2 мм за прохід

C – умовний коефіцієнт, що виражає кількість металу, що зрізається вручну кругом за 1 хв. з площі 1 мм², $C = 3$ мм.

$$T_{\text{шт К}} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 2,8 \cdot 1,08 = 3,04 \text{ хв.}$$

3 Відшліфувати зношені поверхні валу перед відновленням.

Роботу виконує шліфувальник 4 розряду.

Визначимо трудомісткість

$$T_{\text{шт}} = \frac{L \cdot h \cdot k}{n_3 \cdot S \cdot t} K_v = \frac{53 \cdot 0,15 \cdot 1,09}{600 \cdot 0,05 \cdot 0,1} \cdot 1,5 = 13 \text{ хв.}$$

де L – довжина шпоночного паза. Мм

h – припуск на обробку, мм

n_3 – число обертів заготовки за хвилину (600-900)

S – поздовжня подача на оберт заготовки (при чорновому шліфуванні 0,02–0,1 мм., при чистовому 0,008–0,1 мм.)

t – глибина шліфування чи поперечна подача (приймається рівною 0,05–0,6 мм.)

K – поправочний коефіцієнт на точність (приймається при чорновому шліфуванні 1,08–1,2, при чистовому – 1,2–1,6)

$$T_{\text{шт}} K = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 13 \cdot 1,08 = 14,04 \text{ хв.}$$

4 Відновити зношені поверхні вібродуговою наплавкою.

Роботу виконує електрозварювальник 4 розряду.

$$T_{\text{шт}} = \frac{60 \cdot Qm}{a_n \cdot I_{\text{св}}} K_v = \frac{60 \cdot 0,09}{0,012 \cdot 150} \cdot 1,5 = 4,5 \text{ хв.}$$

де Qm – маса наплавленого металу з урахуванням втрат ($K_{\text{п}} = 1,25 - 1,5$), кг;

$$Qm = \pi \left(\frac{D_1^2 - D_2^2}{4} \right) \cdot L \cdot \gamma = 3,14 \left(\frac{0,039^2 - 0,035^2}{4} \right) \cdot 0,053 \cdot 7800 = 0,09 \text{ кг},$$

$a_{\text{п}}$ – коефіцієнт наплавлення, кг/А·г, рівний для ручного наплавлення електродугою 0,008; електрошлакового – 0,016; вібродугового – 0,012;

$I_{\text{св}}$ – величина зварювального струму, А, рівна для ручного електродугового наплавлення дорівнює 100–160; електрошлакового – 250–300; вібродугового – 150–200;

K_v – коефіцієнт втрат часу на організаційно-технічне обслуговування, рівний 1,5.

$$T_{\text{шт}} K = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 4,5 \cdot 1,08 = 4,86 \text{ хв.}$$

Провести відпуск наплавленої поверхні.

Роботу виконує терміст 4 розряду

$$T_{\text{шт}} = \frac{Q}{K} K_v = \frac{442}{120} \cdot 1,5 = 5,5 \text{ хв.}$$

де K – коефіцієнт приведення (приймається 78 – 120);

Q – маса деталі, г.

$$T_{\text{шт } K} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 5,5 \cdot 1,08 = 5,967 \text{ хв.}$$

5 Провести чорнову токарну обробку наплавлених поверхонь.

Роботу виконує токар 4 розряду.

$$T_{\text{шт}} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} K_v = \frac{63 \cdot 1}{300 \cdot 0,1} \cdot 1,5 = 3,15 \text{ хв.}$$

де L – повна розрахункова довжина шляху переміщення різця, мм, у напрямку подачі. Приймається більше довжини проточки на 10 – 15 мм;

i – число проходів різця;

n – число обертів оброблюваної заготовки за хвилину;

S – подача, мм/об.

$$T_{\text{шт } K} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 3,15 \cdot 1,08 = 3,4 \text{ хв.}$$

6 Профрезерувати канавку шпонки по поверхні валу 1

Роботу виконує фрезерувальник 4 розряду

$$T_{\text{шт}} = \frac{L \cdot i}{S_m} K_v = \frac{54 \cdot 8}{150} \cdot 1,5 = 4,2 \text{ хв.}$$

де S – подача за хвилину.

$$T_{\text{шт } K} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 4,2 \cdot 1,08 = 4,5 \text{ хв.}$$

7 Провести гартування оброблених поверхонь ТВЧ.

Роботу виконує терміст 5 розряду.

$$T_{\text{шт}} = \frac{Q}{K} K_v = \frac{442}{120} \cdot 1,5 = 5,5 \text{ хв.}$$

де K – коефіцієнт приведення (приймається 78 – 120)

Q – маса деталі, що загартовується, г.

$$T_{\text{шт } K} = T_{\text{шт}} \cdot 1,08 = 1,25 \cdot 1,08 = 1,35 \text{ хв.}$$

8 Виконати чистову шліфовку відновлення поверхні після термічної обробки.

Роботу виконує терміст 4 розряду.

$$T_{\text{шт}} = \frac{L \cdot h \cdot k}{n_3 \cdot St} K_v = \frac{103 \cdot 0,1 \cdot 1,5}{900 \cdot 0,01 \cdot 0,1} \cdot 1,5 = 25,75 \text{ хв.}$$

де L – довжина поверхні шліфування, мм;

h – припуск на обробку, мм;

n_3 – число обертів заготовки за хвилину (600-900);

S – поздовжня подача на оберт заготовки (при чорновому шліфуванні 0,02–0,1 мм., при чистовому 0,008–0,1 мм.);

t – глибина шліфування (поперечная подача) приймається рівною 0,05–0,6 мм;

K – поправочний коефіцієнт на точність (приймається при чорновому шліфуванні 1,08–1,2, при чистовому – 1,2–1,6).

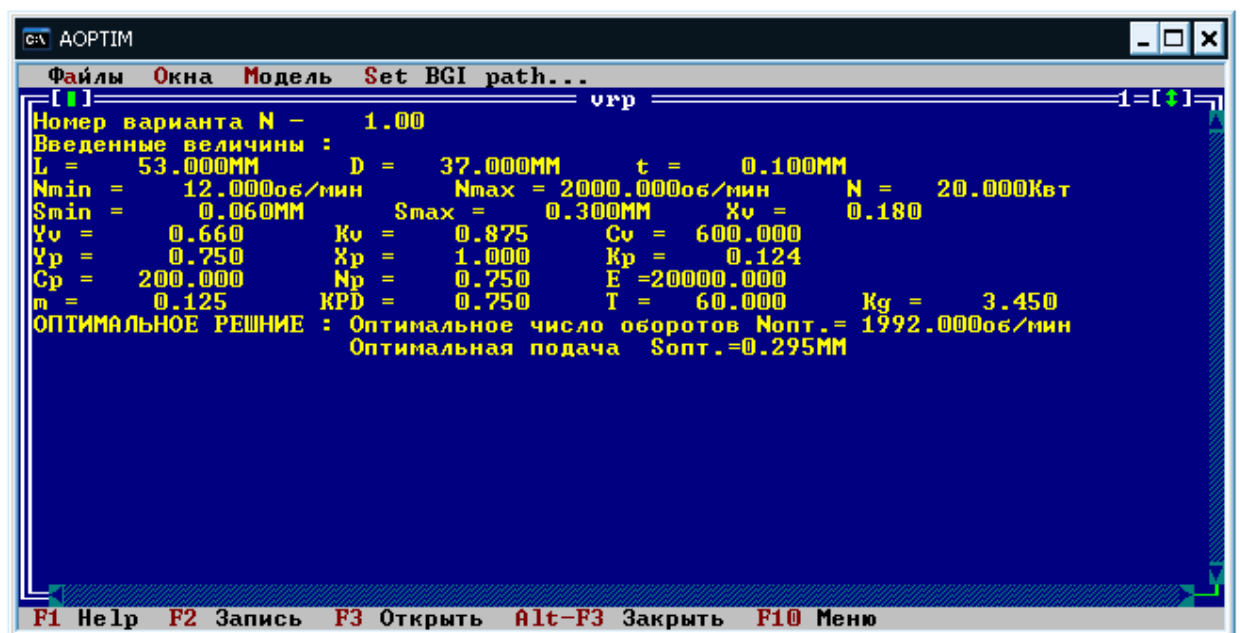
$$T_{шт} K = T_{шт} \cdot 1,08 = 25,75 \cdot 1,08 = 27,81 \text{ хв.}$$

Отримані дані заносимо в таблицю 3.2

$$T_{шт} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} K_v = \frac{103 \cdot 1}{1992 \cdot 0.295 \cdot 0,1} \cdot 1,5 = 2,62 \text{ хв.}$$

Висновок: при оптимальних значеннях час на точіння зменшиться у 9 раз.

Розрахунок оптимальних параметрів на токарну обробку.



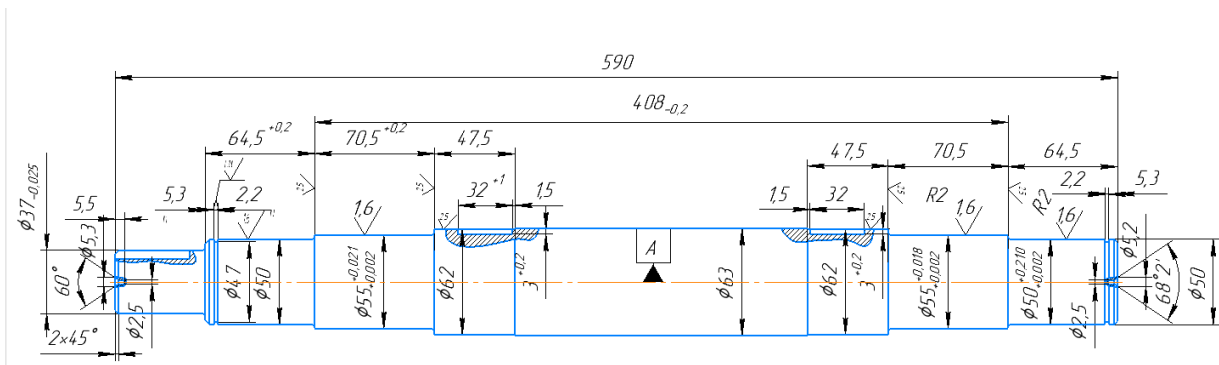
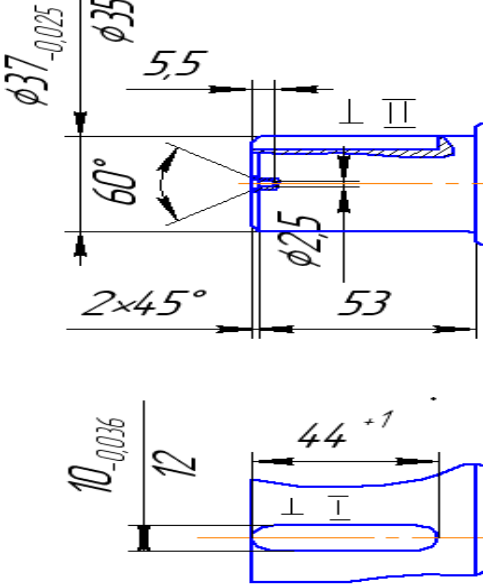


Рисунок 3.3 – Схема валу

Таблиця 3.2 – Прийняті технологічні параметри

№ операції	Поверхня	Назва та склад операції	Обладнання	Оснастка	Розряд	Час (хв.)
						I
1	IA	Заварити шпонковий паз	верстак	Ручне електродугове зварювання	V	3,65
2	IA	Зачистити поверхню	Ручне шліфування	круглошліфувальна машинка	IV	1.72
3	I	Шліфування під наплавлення	Універсально-фрезерний	вимірювальний інструмент	IV	24.1
4	I	Наплавка	Станок токарний 1к-62	вимірювальний інструмент	V	2,7
5	I, IA	Відпуск	Установка СВЧ типу ЛЗТ-60	індуктор на поверхнях	IV	2,28
6	I	Токарна обробка	Токарний станок типу ІК62	вимірювальний інструмент	IV	2,21
7	IA	Фрезерування	універсально-фрезерний	вимірювальний інструмент	V	3,45
8	I, IA	Гартування	Установка СВЧ типу ЛЗТ-60	індуктор на поверхнях	IV	1.35
9	I	Шліфування	Круглошліфувальний станок типу 312А	вимірювальний інструмент	IV	8,37

Таблиця 3.3 – Маршрутна карта відновлення валу

	Дані деталі		
	Матеріал деталі	Вид термічної обробки	Вид робочого навантаження
	Ст 40Х ГОСТ1050-74	Закалка ТВЧ HRC 48...52	Спокійна

Таблиця 3.4 – Прийняті технологічні параметри

Поз.по ескізу	Величина зносу на сторону, мм	Прийнятий спосіб відновлення	Вид підготовки поверхні	Розмір під відновлення, мм	Розмір після відновлення, мм
I	1	Ручне наплавлення	—	10x10x44	—
II	1	Електродугове наплавлення	—	Ø 35	Ø40

Продовження таблиці 3.4 – Прийняті технологічні параметри

Поз.по ескізу	Вид термічної обробки перед механічної обробки	Номинальний розмір, мм	Розмір після чорнової обробки, мм		Вид термічної обробки після відновлення	Вид обробки під номінал. розмір
			Токар-на	Фрезер-на		
I	відпуск ТВЧ	10x10x44	—	10x10x44		-
II	відпуск ТВЧ	Ø 37d11	Ø 37,2	—	Закалка ТВЧ	Шліфування Ø 37 d11

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Вібраційні та віброударні процеси широко застосовуються у промисловості будівельних матеріалів, зокрема під час виробництва тротуарної плитки, бордюрів та інших бетонних виробів. Їх використання забезпечує ефективне ущільнення бетонної суміші, підвищення щільності, міцності та довговічності готової продукції. Під час роботи вібропресового обладнання виконавчі органи машини здійснюють коливальні рухи з малою амплітудою та високою частотою, що дозволяє отримати якісне формування виробів.

Разом із технологічними перевагами робота вібропресового обладнання супроводжується виникненням ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, основними з яких є пил, шум, вібрація та несприятливі параметри мікроклімату виробничого приміщення.

При роботі вібропреса характерними шкідливими факторами є: пил, вібрація, шум (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Вібропрес

Пил та шкідливі речовини. Під час приготування та ущільнення бетонної суміші у повітря робочої зони можуть потрапляти цементний пил і дрібнодисперсні частинки заповнювачів. Тривалий вплив пилу негативно впливає на органи дихання працівників та може викликати професійні захворювання.

Відповідно до чинних санітарних норм, ДСТУ EN 482:2016 «Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин» та ДСН 3.3.6.042-99 концентрація пилу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати гранично допустимі норми. Для зниження запиленості передбачають:

- механізацію та автоматизацію виробничих процесів;
- застосування припливно-витяжної вентиляції;
- регулярне очищення виробничих приміщень;
- використання засобів індивідуального захисту – респіраторів, спецодягу та захисних окулярів відповідно до вимог НПАОП 45.2-3.01-04.

Шум та вібрація. Одними з основних шкідливих факторів при роботі вібропреса є шум і вібрація, що виникають у результаті роботи електродвигунів, гідросистеми та віброзбуджувачів.

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму» рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати 80 дБА. Підвищений рівень шуму може викликати втому, погіршення слуху та зниження працездатності працівників.

Для зниження шуму застосовують:

- своєчасне технічне обслуговування обладнання;
- якісний монтаж вузлів і механізмів;
- використання звукопоглинаючих перегородок та кожухів;
- встановлення вібропреса на окремому фундаменті;
- застосування індивідуальних засобів захисту слуху (навушників або протишумових вкладишів).

Вібрація регламентується ДСН 3.3.6.039-99. Під час роботи вібропреса виникають загальні технологічні вібрації, які негативно впливають як на працівників, так і на конструктивні елементи обладнання. Для зменшення рівня вібрації використовують вібропоглинаючі опори, гумові або бетонні віброподушки, а також дистанційне керування обладнанням.

Мікроклімат виробничого приміщення. Мікроклімат виробничого середовища визначається температурою, відносною вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням. Нормування параметрів мікроклімату здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Роботи, пов'язані з обслуговуванням вібропресового обладнання, належать до категорії середньої важкості (категорія ПБ), оскільки супроводжуються фізичним навантаженням та переміщенням вантажів масою до 10 кг.

Для забезпечення нормативних умов праці у виробничому приміщенні передбачають:

- припливно-витяжну вентиляцію;
- природне та штучне провітрювання;
- підтримання нормативної температури і вологості повітря;
- раціональний режим праці та відпочинку.

Освітлення виробничих приміщень. Освітлення виробничих приміщень повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Для робочих зон пресового обладнання передбачається загальне штучне освітлення з рівнем освітленості 150–200 лк.

Для освітлення використовують світлодіодні або люмінесцентні світильники, які забезпечують достатню яскравість, економічність та безпечні умови праці. Правильно організоване освітлення знижує втому працівників і підвищує безпеку виконання виробничих операцій.

Небезпечні зони вібропресового обладнання. До небезпечних зон вібропреса належать:

- зона руху пуансона;
- зона переміщення піддона;
- ділянка роботи вібростолу;
- зона дії гідроциліндрів;
- місця розташування приводних механізмів;
- електротехнічні шафи та кабельні лінії.

Перебування працівників у небезпечних зонах під час роботи обладнання забороняється. Для запобігання травмуванню передбачають захисні огороження, блокування та світлову сигналізацію.

4.2 Забезпечення виробничої безпеки під час експлуатації вібропресового обладнання

Під час експлуатації гідравлічного вібропреса необхідно забезпечити безпечні умови праці відповідно до вимог чинних нормативних документів, зокрема НПАОП 0.00-7.14-17 «Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні виробничого обладнання працівниками», Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), а також державних санітарних норм і правил.

Основними заходами забезпечення безпеки під час роботи вібропресового обладнання є:

- застосування захисних огорожень рухомих частин машин;
- використання блокувальних і запобіжних пристроїв;

- наявність систем автоматичного контролю, сигналізації та аварійного вимкнення;
 - дистанційне керування обладнанням;
 - забезпечення електробезпеки шляхом заземлення та занулення;
- організація безпечного проведення монтажних, ремонтних і налагоджувальних робіт.

Захисне заземлення являє собою навмисне електричне з'єднання металевих неструмовідних частин обладнання із землею для запобігання ураженню електричним струмом у разі пошкодження ізоляції. Занулення передбачає приєднання металевих частин обладнання до нульового захисного провідника.

Технічні та організаційні заходи безпеки

Для безпечної експлуатації вібропреса необхідно дотримуватись таких вимог:

1. До обслуговування, ремонту та експлуатації обладнання допускаються лише працівники відповідної кваліфікації, які пройшли інструктаж та навчання з охорони праці.
2. Робоче місце повинно утримуватись у чистоті та бути забезпечене нормативним освітленням відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
3. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати допустимих значень, установлених ДСН 3.3.6.037-99. Для більшості виробничих приміщень допустимий рівень шуму становить не більше 80 дБА.
4. Корпус преса, електродвигуни, шафи керування та інше електрообладнання повинні бути надійно заземлені.
5. Перед проведенням ремонтних або профілактичних робіт обладнання необхідно повністю відключити від електромережі та вивісити попереджувальний плакат: «Не вмикати! Працюють люди».
6. У процесі експлуатації необхідно регулярно контролювати стан електропроводки, кабелів, електроапаратури та не допускати їх механічних пошкоджень.
7. У разі виникнення сторонніх шумів, підвищеної вібрації або несправностей роботи обладнання необхідно негайно припинити до повного усунення причин несправності.
8. Під час роботи з електроінструментом слід використовувати справні засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавиці, гумові килимки, ізолювальні підставки та спеціальне взуття.

Під час експлуатації обладнання забороняється:

- працювати при несправному обладнанні;
- експлуатувати прес зі знятими або пошкодженими захисними огороженнями;
- виконувати ремонтні, монтажні чи регулювальні роботи без відключення обладнання від електромережі;
- проводити підтягування болтових з'єднань під час роботи машини;
- допускати до роботи сторонніх осіб, які не мають відповідного допуску;
- захаращувати робочу зону та проходи біля обладнання;
- самовільно змінювати конструкцію блокувальних або аварійних систем.

Важливим елементом забезпечення виробничої безпеки є систематичне навчання персоналу безпечним методам роботи. Всі види інструктажів з охорони праці повинні проводитись відповідно до встановленого графіка з обов'язковим записом у журналі реєстрації інструктажів.

Електробезпека. Віб्रोпресове обладнання належить до електроустановок напругою до 1000 В, тому під час його експлуатації необхідно дотримуватись вимог ПУЕ та НПАОП 40.1-1.21-98.

Для забезпечення електробезпеки передбачають:

- захисне заземлення;
- автоматичне відключення живлення при короткому замиканні;
- використання кабелів із неушкодженою ізоляцією;
- захист електродвигунів від перевантаження;
- застосування автоматичних вимикачів.

Вентиляція виробничого приміщення

Для видалення цементного пилу та забезпечення нормативних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні передбачається припливно-витяжна вентиляція.

Система вентиляції повинна забезпечувати:

- видалення пилу із робочої зони;
- подачу очищеного повітря;
- підтримання нормативної температури та вологості.

4.3 Забезпечення пожежної безпеки об'єкта

Пожежна безпека виробничих приміщень забезпечується відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», Правил пожежної безпеки в Україні та інших нормативних документів.

Під час проектування та експлуатації виробничих приміщень необхідно враховувати можливість виникнення пожежі та передбачати заходи щодо її попередження і ліквідації.

Виробництво бетонних виробів із застосуванням вібропресового обладнання належить переважно до категорії Д за вибухопожежною та пожежною небезпекою, оскільки в технологічному процесі використовуються негорючі матеріали в холодному стані.

Основними причинами виникнення пожеж на підприємствах є:

- порушення правил експлуатації електрообладнання;
- коротке замикання електропроводки;
- несправність електричних установок;
- недотримання правил пожежної безпеки персоналом.

Основні протипожежні заходи. Для забезпечення пожежної безпеки на підприємстві необхідно передбачити:

- розроблення та впровадження плану евакуації персоналу;
- забезпечення евакуаційних шляхів аварійним освітленням відповідно до ДБН В.2.5-28:2018;
- утримання вільними проходів та евакуаційних виходів;
- проведення регулярних інструктажів з пожежної безпеки.

У виробничому приміщенні повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння:

- пожежний щит із комплектом інвентарю;
- порошкові або вуглекислотні вогнегасники;
- ящики з піском;
- пожежні крани та рукави;
- системи оповіщення про пожежу.

Для гасіння електрообладнання доцільно використовувати вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5 або ОУ-10.

Внутрішні пожежні крани повинні розміщуватись у доступних місцях — біля входів, у коридорах або на сходових клітках. Довжина пожежних рукавів зазвичай становить 10–20 м.

Протипожежні розриви між будівлями необхідно передбачати відповідно до вимог будівельних норм для запобігання поширенню вогню між спорудами.

Після завершення монтажу та введення обладнання в експлуатацію необхідно регулярно проводити перевірку справності засобів пожежогасіння, стану електропроводки та заземлення.

Засоби індивідуального захисту. Працівники, які обслуговують вібропрес, повинні бути забезпечені:

- спецодягом;
- захисним взуттям;
- респіраторами;
- захисними окулярами;
- протишумовими навушниками;
- рукавицями.

Засоби індивідуального захисту повинні відповідати вимогам чинних стандартів та регулярно перевірятись на придатність.

4.4 Дії персоналу при аварійних ситуаціях

Під час експлуатації вібропресового обладнання можуть виникати аварійні або небезпечні ситуації, пов'язані з несправністю механічних, гідравлічних чи електричних систем. Для запобігання травмуванню працівників і пошкодженню обладнання персонал повинен діяти відповідно до вимог інструкцій з охорони праці та правил безпечної експлуатації обладнання.

У разі виникнення аварійної ситуації оператор зобов'язаний негайно зупинити роботу обладнання кнопкою аварійного вимкнення, відключити прес від електромережі та повідомити відповідального працівника або механіка цеху.

Негайне вимкнення обладнання необхідно виконати у випадках:

- появи сторонніх шумів або ударів у механізмах преса;
- підвищеної вібрації чи нестійкої роботи віброзбуджувача;
- витоку масла з гідросистеми;
- різкого падіння або підвищення тиску в гідросистемі;
- появи запаху горілої ізоляції чи диму;
- перегріву електродвигунів або гідравлічної станції;
- несправності системи керування, блокувань або аварійної сигналізації;
- пошкодження електропроводки чи захисного заземлення;
- появи тріщин, деформацій або ослаблення кріплень конструкції преса.

У випадку витоку гідравлічного масла необхідно:

- припинити роботу обладнання;
- обмежити доступ сторонніх осіб до небезпечної зони;
- прибрати розлите масло із застосуванням сорбентів або піску;
- перевірити герметичність трубопроводів, з'єднань та гідроциліндрів.

У разі виникнення пожежі або загоряння електрообладнання необхідно:

- негайно відключити електроживлення;
- повідомити пожежну службу та керівництво підприємства;
- застосовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники;

– діяти відповідно до плану евакуації персоналу.

Після ліквідації аварійної ситуації повторний запуск обладнання дозволяється лише після проведення огляду, усунення несправностей та отримання дозволу відповідальної особи.

4.5 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час експлуатації вібропресового обладнання необхідно передбачати заходи щодо зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище. Основними джерелами впливу є пил, шум, відходи бетонної суміші та споживання електроенергії.

Для забезпечення екологічної безпеки на підприємстві передбачаються такі заходи:

- застосування систем припливно-витяжної вентиляції та очищення запиленого повітря;
- регулярне прибирання виробничих приміщень і зволоження запилених зон;
- контроль рівня шуму та вібрації відповідно до санітарних норм;
 - використання енергоефективного електрообладнання;
 - раціональне використання електроенергії та матеріальних ресурсів;
 - повторне використання або утилізація залишків бетонної суміші;
 - своєчасне збирання та утилізація відпрацьованих мастильних матеріалів;
 - недопущення потрапляння гідравлічного масла та виробничих відходів у ґрунт і каналізацію.

Для зниження рівня шумового впливу обладнання встановлюють на окремих фундаментах із вібропоглинаючими елементами, а у виробничих приміщеннях застосовують шумопоглинаючі конструкції.

Дотримання екологічних вимог дозволяє зменшити негативний вплив виробництва на навколишнє середовище, покращити умови праці персоналу та забезпечити відповідність підприємства чинним природоохоронним нормам.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасних технологій та обладнання для виробництва декоративних елементів мощення. Встановлено, що найбільш ефективним методом виготовлення тротуарної плитки та інших бетонних виробів є вібропресування, яке забезпечує високу продуктивність, точність геометричних параметрів та стабільну якість продукції.

Проведено дослідження технологічних процесів виробництва та конструктивних особливостей сучасних вібропресів. Визначено, що використання напівсухих бетонних сумішей і поєднання статичного тиску з вібраційним впливом дозволяє отримувати вироби з високими показниками міцності, морозостійкості та довговічності.

У роботі розроблено технологічну схему виробництва декоративних елементів мощення та виконано вибір основного технологічного обладнання. Проведено розрахунок продуктивності виробничої лінії, визначено необхідну кількість бетонозмішувачів, вібропресів, піддонів, вагонеток і транспортуючого обладнання.

Виконано інженерні розрахунки основних параметрів вібропреса, зокрема:

- продуктивності обладнання;
- параметрів вібропривода;
- статичного пригрузу;
- параметрів дебалансних вібраторів;
- приводного вала;
- гідроциліндрів та гідравлічної системи.

За результатами розрахунків обґрунтовано вибір конструктивних параметрів обладнання, що забезпечують ефективне ущільнення бетонної суміші та стабільність технологічного процесу.

Розглянуто питання охорони праці під час експлуатації вібропресового обладнання. Запропоновано заходи щодо зниження рівня шуму та вібрації, забезпечення безпечної роботи гідравлічної системи та підвищення загальної безпеки виробництва.

Отримані результати можуть бути використані під час проєктування та модернізації виробничих ліній для виготовлення декоративних бетонних виробів, а також у практичній діяльності підприємств будівельної індустрії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1 Neville A. M. *Properties of Concrete*. 5th ed. Harlow : Pearson Education Limited, 2020. 846 p. URL: ResearchGate — https://www.researchgate.net/publication/273432725_Review_of_Properties_of_Concrete_5th_Ed_by_A_M_NevillePrentice_Hall_Pearson_San_Francisco_CA_2012_ISBN_0273755803_and_978-0273755807_846_pp_160_paperback (дата звернення: 05.05.2026).

2 Mindess S., Young J. F., Darwin D. *Concrete*. 2nd ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2019. 644 p. URL: Concrete PDF Library — <https://www.rexresearch1.com/ConcreteCementLibrary/ConcreteMindess.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).

3 Аналіз технології вібропресування тротуарної плитки [Електронний ресурс] / Вінницький національний технічний університет. URL: Репозитарій ВНТУ — <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/8575> (дата звернення: 05.05.2026).

4 EN 1338:2022. *Concrete paving blocks — Requirements and test methods*. Brussels : European Committee for Standardization, 2022. URL: Scribd — <https://www.scribd.com/document/882054341/SIST-EN-1338-2003> (дата звернення: 05.05.2026).

5 Zenith Maschinenfabrik GmbH. *Equipment for concrete block production* [Електронний ресурс] : офіц. сайт. URL: <https://www.zenith.de> (дата звернення: 05.05.2026).

6 BESS Concrete Block Machines. *Concrete block making machines* [Електронний ресурс] : офіц. сайт. URL: <https://www.besscompany.com> (дата звернення: 05.06.2026).

7 ПК ПК. Виробництво тротуарної плитки та бруківки [Електронний ресурс]. URL: <https://pic-pk.ua/vyrobnytstvo-trotuarnoi-plytky-yak-stvoriuietsia-nadiine-pokryttia/> (дата звернення: 05.06.2026).

8 Екта Буд. Виробництво тротуарної плитки та бруківки [Електронний ресурс]. URL: <https://ektabud.in.ua/vyrobnyctvo-trotuarnoyi-plytky-ta-brukivky.html> (дата звернення: 05.06.2026).

9 Karmel. Лінія виробництва тротуарної плитки [Електронний ресурс]. URL: <https://karmel.ua/uk/product/27-paving-tile-production-line-1> (дата звернення: 05.05.2026).

10 Автоматизована лінія виготовлення тротуарної плитки [Електронний ресурс]. URL: Studfile — <https://studfile.net/preview/12121276/page:72/> (дата звернення: 05.06.2026).

11 HESS Group [Електронний ресурс] : офіц. сайт. URL: <https://www.hess-germany.com/> (дата звернення: 05.06.2026).

12 AVR Automation. Модернізація системи управління вібропресом [Електронний ресурс]. URL: <https://avr.in.ua/ua/a92462-modernizatsiya-sistemy-upravleniya.html> (дата звернення: 10.06.2026).

13 Виброплита Дніпро. Технологія виробництва тротуарної плитки [Електронний ресурс]. URL: <https://www.vibroplita.dp.ua/plitka7.htm> (дата звернення: 10.06.2026).

14 Інерційні вібропрес-молоти (ІВПМ) [Електронний ресурс]. URL: ВНТУ
—
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/ivashko_metodvkaz_praktrob_specprocesi_mashiniobrobtiskom/5.html (дата звернення: 10.06.2026).

15 ПП Будпостач. ВП-5 [Електронний ресурс]. URL: <https://pp-budpostach.com.ua/ua/a270870-vibropres-dlya-trotuarnoyi.html> (дата звернення: 10.06.2026).

16 BUM Vibropress. Вібропрес БП-300 [Електронний ресурс]. URL: <https://bum-vibropress.com.ua/ua/product-bp-300> (дата звернення: 10.06.2026).

17 Васт-Сервіс Плюс. Вібропрес ПС 150 ПА [Електронний ресурс]. URL: <https://www.vastservis-ug.com.ua/types/vibropresses/> (дата звернення: 10.06.2026).