

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

“Допустити до захисту”

Зав. кафедри БДМБ канд. техн. наук, проф.

_____ Владислав НАСТОЯЦЬКИЙ

"__" _____ 2025 р.

Кваліфікаційна магістерська робота на тему:

***" Дослідження формувального поста для виготовлення
бетонних виробів з зовнішнім армуванням з метою оптимізації
параметрів "***

Виконав: здобувач

групи ДМ (ГМ) 23 М - 2 спеціальності

133 “Галузеве машинобудування”

_____ Олександр ТЕРОВЕЦЬ

"__" _____ 2025 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи,

к.т.н., професор

_____ Владислав НАСТОЯЦЬКИЙ

"__" _____ 2025 р.

Кропивницький

2025

Центральноукраїнський національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування",
Освітня програма "Галузеве машинобудування"
Освітній рівень "магістр"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Проф. Настоящий В.А.

“ _____ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ
Теровцю Олександр Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту “Дослідження формувального поста для виготовлення бетонних виробів з зовнішнім армуванням з метою оптимізації параметрів.”

Керівник проекту к.т.н. проф. Настоящий Владислав Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “___”___ 2025 року №___

2. Строк подання студентом проекту 25 травня 2025р.

3. Вихідні дані до проекту

Розміри трубо бетонного виробу: діаметр труби 300 мм, довжина труби 3000 мм

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1.Огляд наукової і патентної інформації, обґрунтування доцільності проектування вібраційної установки для ущільнення трубо бетонних виробів;

2.Розробка та дослідження математичної моделі вібраційної установки;

3.Розрахунки основних вузлів вібраційної установки

8.Розробка заходів з охорони праці.

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

1. Вигляд загальний вібраційної установка для виготовлення трубо бетонних виробів 2. Гідравлічна схема установки

2.Складальні креслення: установки для виготовлення трубо бетонних виробів , гідроциліндр привода, лапи машини , кронштейна.

3.Робочі креслення деталей. 4.Креслення технологічного процесу виготовлення деталі

5.Плакати, пов'язані з математичним моделюванням вібраційної машини.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Дослідницький	к.т.н. проф. Настоящий В.А.		
Охорона праці	к.т.н. доцент Лізунков О.В..		

7. Дата видачі завдання 11.02 2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

1	Призначення і галузі застосування	11.02.2025	
2	Огляд наукової і патентної інформації	15.02.2025	
3	Дослідження вібраційного обладнання як об'єктів для ущільнення бетонних виробів	18.02.2025	
4	Математичне моделювання вібраційної машини встановлення оптимальних параметрів установки.	25.02. 2025	
4	Розрахунки, що підтверджують працездатність вібраційної машини	10.03. 2025	
5	Розробка складальних і робочих креслень вібраційної машини, вузлів та деталей.	18.03.2025	
7	Охорона праці	6.05.2025	
8	Оформлення альбому документів	20.05.2025	

Здобувач _____

(підпис)

Теровець О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Настоящий В.А.

(прізвище та ініціали)

Вступ

При проектуванні будівель і споруд для зведення згідно програми відновлення України, конструктивні рішення слід вибирати виходячи з техніко-економічної доцільності їх застосування для конкретних умов та максимального зниження матеріало-, трудомісткості та вартості будівництва. Використання в будівництві трубобетонних конструкцій, зокрема для колон і фундаментних паль, має ряд переваг, що зумовлює їх економічну доцільність у конкретних умовах будівництва. Трубобетонні конструкції складаються з бетону, армованого сталевими трубами, що надає їм високу міцність при порівняно невеликому поперечному перерізі. Це дозволяє значно знизити витрати на матеріали, зменшити вагу конструкцій і знизити транспортні витрати. Завдяки цьому, трубобетон є вигідним з економічної точки зору, особливо в умовах, коли важлива оптимізація ресурсів і витрат.

Іншою важливою перевагою є зниження трудомісткості при виробництві та монтажу. Трубобетонні конструкції не потребують використання складної опалубки, арматурних каркасів або закладних деталей, що значно спрощує процес їх виготовлення. Окрім того, трубобетонні колони і палі є легкими та стійкими до механічних пошкоджень, що підвищує зручність транспортування.

Такі конструкції також ефективно застосовуються в будівництві багатоповерхових будівель, де можна знижувати кількість несучих стін на нижніх поверхах, використовуючи залізобетон з зовнішнім армуванням, що дає можливість створювати відкриті приміщення, такі як виставкові зали. Особливо ефективними є конструкції з круглим поперечним перерізом (трубобетон), оскільки вони забезпечують високу несучу здатність при зменшенні об'ємної ваги матеріалів.

					<i>ФПБВ 2312 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Теравець</i>				<i>Дослідження формувального поста для виготовлення бетонних виробів з зовнішнім армуванням. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Настоящий</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Карпишин</i>					<i>ГМ(ДМ)-23 М2</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Настоящий</i>							

Однак є й деякі обмеження. Одним із головних стримуючих факторів для широкого впровадження трубобетонних конструкцій є відсутність спеціалізованого обладнання для їх виробництва, що ускладнює їх масове використання в будівництві. Застосування таких конструкцій потребує певних інвестицій у розробку нових технологій виробництва, проте їх ефективність і економічність роблять їх перспективним напрямом в сучасному будівництві.

У магістерській роботі розглядається важлива тема вдосконалення процесу виготовлення трубобетонних виробів, зокрема в контексті використання віброплощадок.

Більш детальні підсумки та акценти на важливі аспекти:

1. Методи виробництва трубо-бетонних виробів: Зараз виробництво трубо-бетонних виробів здійснюється двома основними методами:

На вібростолах — це технологія, де виріб ущільнюється під дією вібрацій, що дозволяє досягти високої міцності і точності.

На будівельному майданчику — цей метод менш ефективний через обмежену точність та контроль над процесом.

Однак, обидва ці методи мають певні недоліки, які ви плануєте усунути шляхом удосконалення технології.

2. Актуальність та мета дослідження:

Мета полягає в підвищенні ефективності роботи віброустановок для виготовлення бетонних виробів з зовнішнім армуванням. Це важливо, оскільки зростання потреби в таких виробах пов'язане з розвитком будівництва, і потрібно впроваджувати більш ефективне та економічно доцільне обладнання.

3. Об'єкт та предмет дослідження:

Об'єкт дослідження - система взаємодії між трубо-бетонним виробом, що формується, і робочим органом віброустановки в процесі роботи.

							ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

Предмет дослідження-- динамічний вплив робочого органа віброустановки на трубобетонні вироби, що формуються та ущільнюються.

4. Методи дослідження:

Використовується наступний спектр методів:

Теоретичні дослідження з використанням теоретичної механіки та диференціального числення для аналізу процесів.

Методи оптимального проектування для покращення конструкції віброустановок.

Методи поступового наближення для розв'язування складних рівнянь, що виникають при моделюванні взаємодії робочого органа з бетонними виробами.

5. Очікувані результати: Удосконалення віброплощадок і розробка більш ефективних методів виробництва повинні призвести до зменшення витрат на виробництво, покращення якості та скорочення часу на виготовлення виробів, що є важливими чинниками для конкурентоспроможності в будівельній галузі.

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, в описаних методах з'єднання враховано міцність, герметичність стиків та зручність монтажу, що забезпечує надійність та довговічність конструкцій.

Застосування довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням у цивільних і виробничих будівлях може бути дуже ефективним для створення міцних і стійких конструкцій, особливо для великих споруд, таких як опори для мостів, естакад, промислових об'єктів..

Основні етапи процесів застосування довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням:

1. Виготовлення конструктивних елементів на будівельному майданчику: виготовлення елементів безпосередньо на місці будівництва дає можливість скоротити час транспортування та забезпечити більшу точність у підгонці елементів під конкретні умови майданчика.
2. Монтаж гілок опор і приварка розпірок: спочатку встановлюються основні вертикальні елементи (гілки), після чого приварюються горизонтальні розпірки, які забезпечують стабільність конструкції. Такий метод дозволяє отримати монолітну конструкцію з високою несучою здатністю.
3. З'єднання гілок з розпірками через зварку: використання базфасовочного стику (пряме примикання та зварювання) є ефективним методом для забезпечення міцного з'єднання, що дозволяє зменшити кількість необхідних кріпильних елементів і забезпечити високу точність з'єднання.
4. Бетонування і ущільнення бетону: бетон заливається після складання конструкції, причому для його ущільнення використовуються глибинні вібратори. Це дозволяє уникнути утворення пор і забезпечити високі характеристики міцності бетону.
5. Монтаж сталевго оголовника: на завершальному етапі встановлюється сталевий оголовник, що додає конструкції додаткову міцність і стабільність, а також виконує захисну функцію для бетонної частини опори.

										ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Такий підхід дозволяє досягти ефективного поєднання міцності, стабільності і довговічності конструкцій. Використання зовнішнього армування і правильне бетонування дозволяють забезпечити високу несучу здатність конструкцій навіть при великих навантаженнях.

1.2. Машини та обладнання для вібраційного формування залізобетонних виробів.

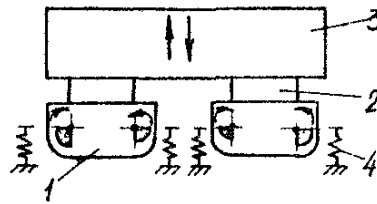
1.2.1. Машини для вібраційного формування залізобетонних виробів.

Процес віброформування бетонної суміші є одним з найефективніших методів ущільнення бетонних виробів у промисловості збірного залізобетону. Суть цього процесу полягає в тому, що внаслідок вібрації суміш зазнає динамічного впливу, який призводить до настурних зміни її структури і фізичних властивостей [2,3]:

1. Тиксотропні властивості бетонної суміші означають, що її в'язкість знижується при дії вібрації, що веде до покращення текучості. Це означає, що суміш стає більш рідкою і здатною до переміщення, що сприяє ущільненню. У процесі вібрації відбувається руйнування первинної структури суміші, що також знижує її в'язкість.
2. Під час вібрації бетонна суміш поводить як рідина: дрібні частинки зміщуються, що дозволяє виштовхувати бульбашки повітря, що утворюються при змішуванні. Це значно зменшує кількість пор в готовому виробі, підвищуючи його щільність.
3. В результаті дії вібрації утворюється нова, більш стійка компоновка частинок бетонної суміші, що дозволяє забезпечити рівномірне розподілення матеріалу по формі. Це допомагає досягти рівної і міцної поверхні виробу, що важливо для забезпечення високих експлуатаційних характеристик залізобетонних виробів.

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(рисунок 1.1) застосовують для формування товстостінних (до 0,5 м) виробів з бетонних сумішей малої рухливості



1 – вібробудувачі; 2 – кріпильний елемент; 3 – робочий орган; 4 – пружні елементи

Рисунок 1.1 – Вібромайданчик з вертикально-направленими гармонійними коливаннями

Вібромайданчики з горизонтально направленими коливаннями (рисунок 1.2) застосовують для формування великих за довжиною тонкостінних виробів з бетонної суміші середньої рухливості – до 40-50 с.

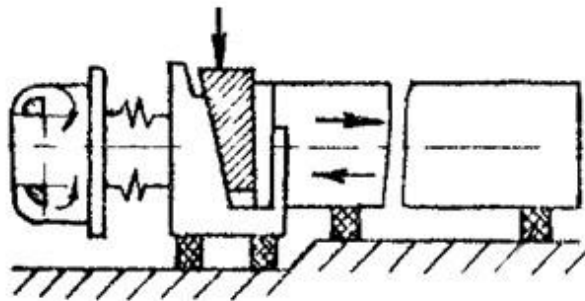


Рисунок 1.2 – Вібромайданчик з горизонтально-направленими гармонійними коливаннями

Шок-площадки Перехід до струшуючих режимів – один з реальних шляхів підвищення ефективності формувальних машин, реалізований в шок-площадках. Робота шок-площадок (рисунок 1.3) заснована на тому, що форма з бетонною сумішшю піднімається за допомогою кулачкового механізму на висоту 10-15 мм, а потім вільно падає на масивний фундамент. При ударі в бетонній суміші утворюється хвиля, направлена від низу до верху, яка вичавлює з суміші надмірну воду і повітря.

						ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

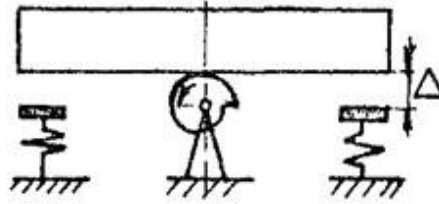


Рисунок 1.3 – Принципова схема шок-площадки

У вібромайданчику з просторовим рухом робочих механізмів (рисунок 1.4) просторові коливання досягаються завдяки зсуву осі одновального відцентрового віброзбудника щодо центру мас машини. Це спричиняє складні коливання по трьох осях — X , Y , Z . Такий тип вібрації дозволяє ефективно здійснювати ущільнення матеріалів у формах.

Коли форма використовується для виготовлення виробів з пластичних бетонних сумішей, вона розміщується на рамі без фіксації, що дозволяє їй вільно рухатись під час вібрацій. Водночас, для ущільнення жорстких сумішей форма фіксується до рами за допомогою клинових притисків, що забезпечує її стабільність і ефективність процесу ущільнення.

Цей механізм вібрації важливий для рівномірного ущільнення матеріалів у формах, що дозволяє отримувати вироби з необхідними характеристиками міцності та форми.

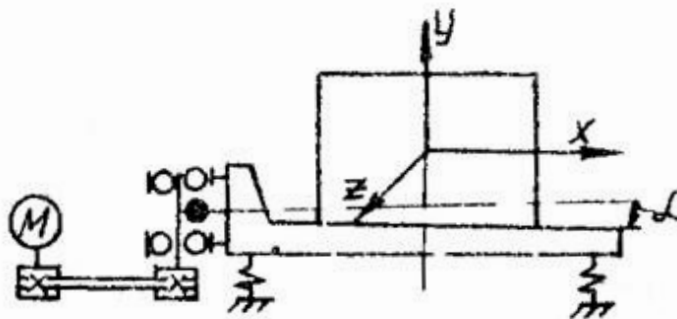


Рисунок 1.4 – Принципова схема будови вібромайданчика з просторовим Коливанням.

						ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Вібродарні вібромайданчики з вертикально направленими коливаннями (рисунки 1.5) використовуються для ущільнення бетонної суміші, що дозволяє досягти значної ефективності в процесі виробництва бетонних виробів. У таких вібромайданчиках коливання направлені вгору, що створює певний ефект. Завдяки цьому інерційні сили, що виникають під час вібрації, діють на частинки бетонної суміші і сприяють їх переміщенню вниз. Цей напрямок сил допомагає уникнути відриву суміші від піддону форми, що могло б призвести до порушення якості ущільнення.

У результаті таких вертикальних ударних коливань досягається підвищення прискорення, яке притискає бетонну суміш до піддону. Прискорення може досягати $20g$ (де g — це прискорення вільного падіння, приблизно $9,81 \text{ м/с}^2$), що значно підвищує ефективність ущільнення. Це особливо важливо для досягнення високої щільності бетону і забезпечення його міцності, а також для усунення пористості і неповного заповнення форми.

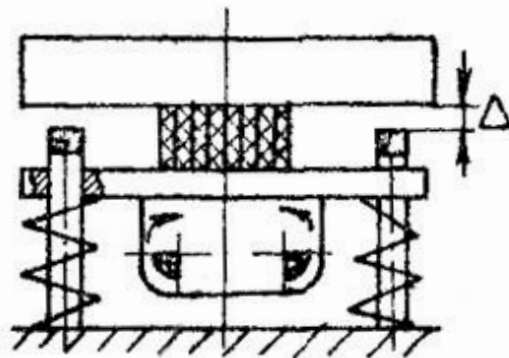


Рисунок 1.5 – Принципова схема будови вібродарних майданчиків з вертикально направленими коливаннями.

Імпульсні установки, як тип ударно-вібраційних вібромайданчиків (рисунки 1.6), використовуються для ущільнення бетонної суміші, передаючи імпульси безпосередньо на бетон під час його проходження через форму. Ці

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

установки є ефективними для досягнення високої щільності та міцності бетонних виробів. Основна особливість таких установок полягає в тому, що імпульсна дія на бетонну суміш є короткочасною та інтенсивною, що дозволяє забезпечити рівномірне ущільнення суміші без необхідності постійного механічного впливу. Бетонну суміш укладають на еластичний килим, виготовлений, як правило, з транспортерної стрічки, яка забезпечує рух суміші через форму. Цей килим грає роль амортизатора, рівномірно розподіляючи імпульсне навантаження по всій поверхні бетонної суміші. Вибір транспортерної стрічки для килима дозволяє досягти стабільної і ефективної роботи установки при обробці бетонної суміші середньої пластичності, що є оптимальним для таких умов.

Застосування імпульсних установок дозволяє зменшити час на ущільнення бетонної суміші та покращити якість готових виробів, що є важливим для виробництва високоякісних бетонних конструкцій.

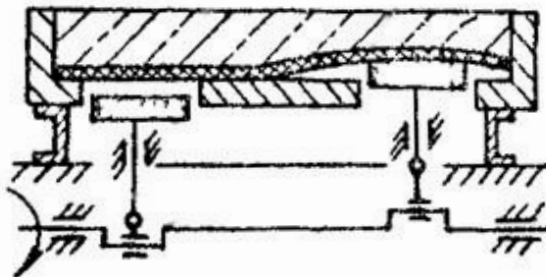


Рисунок 1.6– Схема імпульсної установки

В описаному процесі, на пульсаторах виникають області плоских хвиль деформацій, які потім перетворюються на сферичні хвилі деформацій бетонної суміші. Це може бути пов'язано з впливом механічних коливань, що передаються від пульсаторів на матеріал. В результаті взаємодії хвиль різних типів, як плоских, так і сферичних, виникає складна картина деформацій, яка забезпечує ефективне ущільнення суміші.

										ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Плоскі хвилі виникають в області прямого впливу пульсаторів на бетонну суміш. Ці хвилі можуть бути лінійними або мати певну направленість, залежно від конфігурації пульсаторів.

Коли хвилі починають розповсюджуватися з пульсаторів у всіх напрямках, вони можуть стати сферичними, що дозволяє впливати на більшу площу суміші. Це сприяє рівномірному ущільненню суміші, оскільки хвилі деформацій охоплюють велику частину об'єму матеріалу.

Коли пульсатори працюють з фазовими зміщеннями на кути 90° або 180° , виникає ефект взаємодії хвиль, що призводить до додаткових зрушень між хвилями. Це означає, що в різних точках суміші хвилі будуть взаємодіяти, а фазові зсуви між ними змінюють характер деформацій. Така взаємодія сприяє ефективнішому перерозподілу енергії в суміші.

Взаємодія хвиль, а також фазові зміщення, можуть призвести до зменшення внутрішнього тертя між частинками бетонної суміші. Це дозволяє частинкам більш вільно рухатися відносно одна одної, що сприяє більш ефективному ущільненню суміші.

В результаті, завдяки таким механізмам взаємодії хвиль та фазових зрушень, досягається кращий рівень ущільнення бетонної суміші, що покращує її механічні властивості і забезпечує більш високу міцність та однорідність матеріалу після затвердіння.

Висновки по розділу:

Аналіз літературних джерел [1,5] показав, що довгомірні бетонні вироби з зовнішнім армуванням (трубобетон) виготовляють за допомогою навісних вібраторів або на вібраційних столах. Обидва методи мають суттєві недоліки.

В першому випадку, досить багато часу затрачається на встановлення вібраторів на трубу, і подальше знаття їх.

В другому, основним недоліком є необхідність підготовки майбутньої стикової поверхні, а саме шліфовки останньої.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Базою устаткування ущільнення довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням може бути прийняте вібраційне обладнання, однак при визначенні параметрів устаткування необхідне урахування фізико-механічних властивостей трубобетона та технологічні особливості довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням конструктивні .

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Дослідницький розділ.

Обґрунтування та побудова математичної моделі установки для ущільнення довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням.

2.1. Фізична суть віброущільнення і оцінка процесу методами теорії подібності[2,3,4].

1. Фізична суть вібраційного ущільнення:

Вібрація дозволяє усунути шкідливий вплив сил тертя і зчеплення між частинками бетонної суміші, що перешкоджають їх ущільненню.

Сила тяжіння сприяє ущільненню, тоді як сили тертя і зчеплення знижують ефективність цього процесу.

2. Ефект вібрації:

Вібрація передає імпульси частинкам суміші, змушуючи їх коливатися. Це приводить до переходу бетонної суміші з аморфного рихлого стану в стан важкої рідини.

В процесі вібрації частинки бетонної суміші переміщуються під дією сили тяжіння, вивільняється повітря у вигляді бульбашок.

3. Тиксотропія та зміни в цементній системі:

Вібрація сприяє тиксотропним змінам у бетонній суміші, що призводить до зменшення її в'язкості та покращення ущільнення. Це описується через модель тиксотропного розрідження і формування макро- та мікроструктури.

4. Стадії процесу ущільнення:

процес ущільнення можна поділити на три стадії:

- Перша стадія: перекомпонування складових.
- Друга стадія: утворення оболонок та рідкої фази на поверхні крупного заповнювача.
- Третя стадія: компресійне стиснення суміші.

Визначальними параметрами для механічного процесу укладання прийняті: сила F , час t , довжина l . Число безрозмірних коливань – згідно π -теореми (у цьому завданні $10 - 3 = 7$) При складанні безрозмірних комбінацій враховані відомі фізичні і емпіричні залежності Наприклад, на віброуцільнення роблять вплив різні комбінації амплітуди і частоти: $A\omega$, $A\omega^2$, $A^2\omega^2$, $A^2\omega^3$, що полегшує отримання безрозмірних комбінацій в наступному вигляді

$$\frac{\rho l^3 A^2 \omega^2}{N b}; \quad \frac{\rho A^2 \omega^2}{\tau_0}; \quad \frac{\rho A \omega}{\beta v}; \quad \frac{N_B t}{\tau_0 l^3}; \quad \frac{N_B t^2}{v l^3}; \quad \frac{A \omega^2}{g}. \quad (2.1)$$

У найзагальнішому вигляді щільність бетону виражена

$$\rho \left(\frac{l^3 A^2 \omega^2}{N b}; \frac{A^2 \omega^2}{\tau_0}; \frac{A \omega}{\beta v} \right) = f \left(\frac{N_B t}{\tau_0 l^3}; \frac{N_B t^2}{v l^3}; \frac{A \omega^2}{g}; A \beta \right). \quad (2.2)$$

. Основними факторами процесу віброуцільнення бетонної суміші в тому числі взаємозв'язок різних параметрів вібрації, які впливають на ефективність ущільнення являються [2,3,4]:

1. **Залежність від прискорення коливань:** Процес віброуцільнення залежить від прискорення коливань, яке пропорційне до $A\omega^2$ де A — амплітуда коливань, а ω — частота. Це означає, що підвищення інтенсивності коливань (як через амплітуду, так і через частоту) може позитивно вплинути на процес ущільнення.
2. **Вплив на тривалість процесу:** Тривалість віброуцільнення пов'язана з питомою потужністю і властивостями бетонної суміші. Питомі потужності, що залежать від амплітуди та частоти коливань, мають важливе значення для досягнення бажаного результату за часом.
3. **Вплив амплітуди на ущільнення:** Використання великих амплітуд коливань покращує процес ущільнення бетонної суміші. Це свідчить про важливість вибору відповідних параметрів вібрації для ефективного ущільнення.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. **Тиксотропне розрідження цементного тесту:** Ущільнення також передбачає перерозподіл цементного тіста, що вимагає його тиксотропного розрідження. Це дозволяє зменшити в'язкий опір і полегшити процес ущільнення, оскільки цементне тісто діє як мастило, що знижує сухе тертя між частинками.

3. **Вібраційні параметри (амплітуди та частоти):** Параметри вібрації, такі як амплітуда та частота, суттєво впливають на процес ущільнення:

Великі амплітуди вібрацій сприяють сильнішим відносним переміщенням частинок і ефективнішому подоланню сил тертя, що забезпечує інтенсивніше ущільнення.

Високі частоти вібрації активують тиксотропне розрідження цементного тіста, зменшуючи в'язкий опір і сприяючи кращому ущільненню суміші.

Низькочастотні вібрації створюють менш інтенсивне розрідження цементного тесту, але в цьому випадку можуть виникати менш інтенсивні переміщення частинок і, як наслідок, менша ефективність ущільнення.

4. **Тривалість процесу ущільнення:** При великих амплітудах вібрацій частинки суміші переміщуються швидше, що може призвести до скорочення часу ущільнення. З іншого боку, низькі частоти сприяють менш інтенсивному, але більш тривалому процесу.

Таким чином, правильне налаштування параметрів вібрації є визначальним для досягнення оптимального ущільнення бетонної суміші.

Ущільнення функціонально залежить від прискорення, оскільки саме це параметр визначає інтенсивність процесу, що є важливим для ефективної роботи в машинобудівній галузі. Прискорення впливає на вібраційну систему, яка забезпечує ущільнення матеріалів або компонентів. У цьому контексті, менше значення прискорення в області раціональних частот та амплітуд дозволяє досягти максимального ефекту ущільнення. Це означає, що оптимальні умови для вібраційної системи визначаються такими, за яких прискорення мінімальне,

									ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

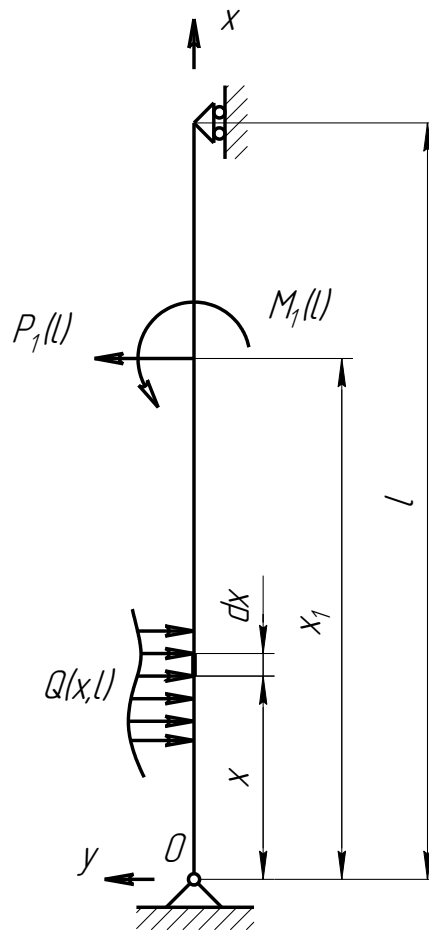


Рисунок 2.1 – Схема закріплення стрижня

Кільцеві умови для цього випадку мають вигляд

$$(X)_{x=0} = 0; \left(\frac{d^2 X}{dx^2} \right)_{x=0} = 0; (X)_{x=l} = 0; \left(\frac{d^2 X}{dx^2} \right)_{x=l} = 0. \quad (2.5)$$

Ці залежності дають можливість зрозуміти, які значення переміщення та згинальний момент дорівнюють на кожному з кінців стрижня

Рівняння для нормальної функції мають наступний вигляд.

$$X = C_1(\cos kx + \cosh kx) + C_2(\cos kx - \cosh kx) + C_3(\sin kx + \sinh kx) + C_4(\sin kx - \sinh kx). \quad (2.6)$$

З перших двох умов (3.33) випливає, що сталі C_1 та C_2 в (2.5) повинно дорівнювати нулю. Із третьої та четвертої умови визначаємо, що $C_3 = C_4$,

$$\sin kl = 0. \quad (2.7)$$

Для випадку, що розглядається, останнє рівняння є частотним.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рішення, що не дорівнюють нулю цього рівняння $k_i l = i\pi$ при $i = 1, 2, 3, \dots, \infty$. Звідси

$$k_i = \frac{i\pi}{l}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \infty. \quad (2.8)$$

Кутову частоту, що відповідає цим значенням k_i визначаємо з формули

$$\omega_i = k_i^2 a = \frac{i^2 \pi^2 a}{l^2} = \frac{i^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho F}}. \quad (2.9)$$

Розглянемо динамічні прогини вільно обпертого стрижня при поперечних коливаннях, обумовлених розподіленим навантаженням $Q(x, t)$, зосередженою силою $P_1(t)$ або зосередженим моментом $M_1(t)$, прикладеним в точці $x = x_1$ (рисунок 2.1). Для перших двох випадків навантаження не потрібно одержувати загальних виразів, що описують несталу поведінку стрижня.

Поперечне динамічне переміщення y , обумовлене дією розподіленого поперечного навантаження $Q(x, t)$

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{X_i}{\omega_i} \int_0^l X_i \int_0^t q(x, t') \sin \omega_i(t - t') dt' dx, \quad (2.10)$$

де $q(x, t') = Q(x, t)/m$

Переміщення при дії зосередженої сили $P_1(t)$

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{X_i X_{1i}}{\omega_i} \int_0^t q(t') \sin \omega_i(t - t') dt', \quad (2.11)$$

де X_{1i} – значення функції X , в точці $x = x_1$;

$$q_1(t) = P_1(t)/m.$$

Оскільки момент $M_1(t)$ не відповідає виду виникаючих переміщень, останні не можна визначати безпосередньо. З цією метою скористаємося методом можливої роботи. При такому підході функцію, що описує лінію прогинів, представляють у вигляді ряду

						ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i X_i, \quad (2.12)$$

тоді можливе переміщення при i -й формі коливань $\delta y_i = \delta \varphi_i X_i$. В цьому випадку можлива робота розподілених сил інерції на можливому переміщенні при i -й формі коливань

$$\delta W_{Yh} = \int_0^1 (-\rho \cdot F \cdot dx \cdot \ddot{y}) \delta y_i = -m \cdot \delta \cdot \varphi_i \int_0^1 \ddot{y} \cdot X_i \cdot dx. \quad (2.13)$$

Підставляючи (2.12) у (2.13) і враховуючи співвідношення ортогональності

$$\int_0^1 X_i X_j dx = 0 \text{ при } i \neq j, \quad (2.14)$$

та нормування

$$\int_0^1 X_i^2 dx = 1; \int_0^1 X_i^{IV} X_i dx = \int_0^1 (X_i'')^2 dx = k_i^4 = \left(\frac{\omega_i}{\alpha}\right)^2, \quad (2.15)$$

при $i = j$, отримаємо

$$\delta W_{Yh} = -m \cdot \ddot{\varphi}_i \cdot \delta \varphi_i \int_0^1 X_i^2 \cdot dx = -m \cdot \ddot{\varphi}_i \cdot \delta \cdot \varphi_i. \quad (2.16)$$

Енергія деформації, обумовлена згином стрижня

$$U = \int_0^1 \frac{EI}{2} (y'')^2 \cdot dx = \frac{r}{2} \int_0^1 (y'')^2 \cdot dx. \quad (2.17)$$

Підставляючи (2.12) у (2.17) і враховуючи співвідношення

$$\int_0^1 X_i'' X_j'' dx; \text{ при } i \neq j, \quad (2.18)$$

та (2.14), знайдемо

$$U = \frac{r}{2} \sum_{j=1}^{\infty} \varphi_j^2 \int_0^1 \frac{EI}{2} (X_j'')^2 \cdot dx = \frac{r}{2} \sum_{j=1}^{\infty} k_j^4 \cdot \varphi_j^2. \quad (2.19)$$

Можливу роботу пружних сил при $i = j$ можна визначити таким чином

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta W_{\text{Yh}} = -\frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \delta \varphi_i = -rk_i^4 m \varphi_i \delta \varphi_i = -m \omega_i^2 \varphi_i \delta \varphi_i. \quad (2.20)$$

Для того, щоб визначити можливу роботу, що здійснюється зосередженим моментом, відмітимо, що цей момент здійснює роботу на кутовому переміщенні, що виникає в точці його додатку. Тоді роботу моменту M_1 на можливому переміщенні при i -й формі коливань можна записати у вигляді

$$\delta W_{M_1} = M_1 \delta y'_{i1} = M_1 \delta \varphi_i X'_{i1}, \quad (2.21)$$

де X'_{i1} – значення першої похідної функції X_1 по x , обчислене в точці $x = x_1$.

Підсумовуючи вирази (2.15), (2.16) і (2.20) і прирівнюючи результат до нуля, одержимо

$$m \ddot{\varphi}_i + m \omega_i^2 \varphi_i = M_1 \delta \varphi_i X'_{i1}. \quad (2.22)$$

Розділивши ліву і праву частини (3.50) на m , отримаємо

$$\ddot{\varphi}_i + \omega_i^2 \varphi_i = \frac{M_1 \delta \varphi_i X'_{i1}}{m}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \infty. \quad (2.23)$$

Отримане співвідношення представляє типові рівняння руху в нормальних координатах, а член, що стоїть в правій частині – навантаження, відповідну i -й нормальній формі коливань. Для i -ої форми коливань інтеграл Дюгамеля для даного завдання

$$\varphi_i = \frac{X'_{i1}}{m \omega_i} \int_0^t M_1(t') \sin \omega_i(t - t') dt', \quad (2.24)$$

а відповідні повні поперечні динамічні переміщення стрижня мають вигляд

$$y = \frac{X_i X_{i1}}{m \omega_i} \int_0^t M_1(t') \sin \omega_i(t - t') dt'. \quad (2.25)$$

Таким чином, за допомогою підходу, заснованого на розгляді можливої роботи, і представлення рішення у вигляді ряду по нормальних формах коливань ми одержали вираз для переміщень при несталій поведінці, аналогічне виразу для випадку дії зосередженої сили. Проте в останньому виразі величини P_1 , X_{i1}

						ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

слід при цьому замінити відповідно на M_i і X'_i .

У окремому випадку вільно обпертого стрижня його кругові частоти і нормовані функції, що описують форми коливань, мають вигляд

$$\omega_i = k_i^2 a = \frac{i^2 \pi^2 a}{l^2}, \quad X_i = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{i\pi x}{l}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \infty. \quad (2.26)$$

Підстановкою нормальних функцій у (2.9) для переміщень при дії розподіленої сили, що змінюється в часі, одержуємо

$$y = \frac{2}{l} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x}{l} \int_0^l \sin \frac{i\pi x}{l} \int_0^t q(x, t') \sin \omega_i(t - t') dt' dx. \quad (2.27)$$

Аналогічно з (3.39) для випадку дії зосередженої сили, що змінюється в часі, маємо

$$y = \frac{2}{l} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x}{l} \int_0^t q_1(t') \sin \omega_i(t - t') dt'. \quad (2.28)$$

А (2.18) дає рішення для випадку дії зосередженого моменту

$$y = \frac{2}{l} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x}{l} \int_0^t q_1(t') \sin \omega_i(t - t') dt'. \quad (2.29)$$

Вирази (2.27) і (2.28) аналогічні відповідним виразам для заздальгідь розтягнутої нитки, а вираз (2.29) можливо застосовувати тільки до елементів конструкцій, що володіють жорсткістю на згин.

Як приклад розглянемо випадок, коли сила змінюється в часі по гармонійному закону $P_1 = P \sin \theta t$ і прикладена в точці $x = x_1$. Тоді відповідні динамічні переміщення стрижня відповідно до виразу (3.56) мають вигляд

$$\begin{aligned} y &= \frac{2P}{ml} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x_1}{l} \int_0^t \sin \theta t' \sin \omega_i(t - t') dt' = \\ &= \frac{2P}{ml} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\omega_i} \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x_1}{l} \left(\sin \theta t - \frac{\theta}{\omega_i} \sin \omega_i t \right) \beta_i = \end{aligned} \quad (2.30)$$

$$= \frac{Pl^3}{m\pi^4\alpha^3} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^4} \sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x_1}{l} \left(\sin \theta t - \frac{\theta l^2}{i\pi^2\alpha} \sin \omega_i t \right) \beta_i,$$

де β_i – коефіцієнт посилення

$$\beta_i = \frac{1}{1 - \frac{\theta^2}{\omega_i^2}}. \quad (2.31)$$

Перший доданок (2.30) характеризує сталу поведінку при вимушених коливаннях стрижня, другий описує несталу поведінку при вільних коливаннях. За наявності демпфування останні затухатимуть, тому практичний інтерес представлятиме тільки сталу поведінку балки.

Позначивши через α відношення частоти зміни збуджуючої сили до частоти основної форми вільних коливань, з виразів (2.21) одержуємо

$$\alpha = \frac{\theta}{\omega_1} = \frac{\theta l^2}{a\pi^2}, \quad (2.32)$$

тоді прогини при сталих вимушених коливаннях згідно (2.30)

$$y = \frac{2Pl^3 \sin \theta t}{EI\pi^4} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{i\pi x}{l} \sin \frac{i\pi x_1}{l}}{i^4 - \alpha^2}. \quad (2.33)$$

При малих значеннях α високу точність при визначенні прогинів стрижня одержимо, утримавши тільки перший член цього ряду, при цьому видно, що відношення динамічного прогину до статичного

$$\beta_i = \frac{1}{1 - \alpha^2}. \quad (2.34)$$

На рис.2.2 побудовано графіки за отриманими залежностями, на підставі яких робимо висновки:

- частота коливань системи залежить від частоти вимушених коливань. Це нам дає можливість визначити навантаження, при яких буде відбуватись резонанс;
- для частоти 25 Гц вимушуюча сила близько 213 Н буде викликати резонанс системи;

						ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

важливо для точного контролю за процесом ущільнення бетону. Це також дозволяє варіювати рівень вібрації залежно від потреб конкретного виробу.

Загалом, така конструкція на наш погляд є оптимальним варіантом для ефективного ущільнення бетонних виробів з зовнішнім армуванням, особливо для трубо-бетонних виробів, де рівномірність ущільнення має вирішальне значення для досягнення необхідної міцності та довговічності.

Розглядаємо наступний варіант виробу, що виготовляється:

Діаметр трубобетонної труби,
що ущільнюється, мм 300;

Довжина трубобетонної труби,
що ущільнюється, мм 3000

3.2. Розрахунок пружин розтягнення

Для розрахунку навантаження на пружини, яке повинно бути розвинуто для створення необхідного натягу, використовуємо рівняння, яке описує вагу конструкції та тертя між накладками і трубою, при цьому необхідно враховувати максимальне навантаження, коли конструкція висить на верхньому або нижньому поясі, тобто враховуємо вагу конструкції та силу тертя, яка повинна перевищувати її.

Розрахунок виконуємо в наступній послідовності:

1. Визначаємо вагу конструкції F визначається за формулою:

$$F = m \cdot g, \quad (3.1)$$

де m – маса конструкції, кг. В попередньому розрахунку приймемо приблизну можливу масу конструкції;

g – прискорення вільного падіння, м/с.

$$F = 100 \cdot 9,81 = 98,1. \quad (3.2)$$

2. Сила тертя, що діє між накладками і трубою, визначається за класичною формулою:

$$F_T = f \cdot N, \quad (3.3)$$

де f – коефіцієнт тертя.

									ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Задачу, пов'язану із розходженням «лап» пристрою, вирішуємо графічним методом, для чого будемо графічне представлення, яке враховуватиме всі зазначені параметри зварного з'єднання і забезпечить можливість проходження через зварні шви. Графічне побудування виконуємо в наступній послідовності:

1. Зварний шов С2:

Висота зварного з'єднання над поверхнею становить $1 \pm 0,5$ мм. Тобто, висота може варіюватися від 0,5 мм до 1,5 мм.

Це означає, що в найвужчому місці між «лапами» пристрою, якщо вони повинні проходити через зварне з'єднання, повинно бути не менше 1,5 мм.

Приймаємо мінімальне розходження «лап» на 2 мм для гарантії, що пристрій зможе пройти.

2. Прокладки з фасками:

Для спрощення процесу подолання зварних з'єднань передбачаємо виконання фасок на прокладках. Фаски дозволяють зменшити тертя і створити більш плавний перехід через зварний шов, тим самим полегшуючи монтаж чи демонтаж пристрою.

При побудові графічного представлення треба показати, як змінюється відстань між «лапами» в залежності від висоти зварного з'єднання, а також врахувати максимальну висоту розходження на 2 мм для «лап» пристрою.

Візуалізація включає елементи зварного з'єднання, фасок на прокладках і в крайньому положенні «лап».

Висота зварного шва може змінюватись, що впливає на розташування «лап».

Мінімальна відстань між «лапами» має бути 1,5 мм, але для проходження пристрою передбачаємо, що розходження може досягати 2 мм.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Послідовність побудови графічної візуалізації

1). Малюємо труби з зварним швом С2, на яких показані варіанти висоти зварного шва.

2). Позначаємо «лапи» пристрою і показуємо крайні положення для їх розходження на 2 мм.

3). Додаємо прокладки з фасками для полегшення процесу подолання зварних з'єднань.

За допомогою САПР «Solid works» розраховуємо пружину, що працює на розтяг, та отримуємо параметри, які наведені в таблиці 3.1.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Параметри пружини

Найменування параметру	Значення (властивість)	
Матеріал	Дріт Б-2-3,4	
Клас	-	2
Розряд	-	2
Відносний інерційний зазор	-	0,1
Зовнішній діаметр пружини, мм	D	40,0
Діаметр дроту, мм	d	3,4
Число працюючих витків	n	18
Зусилля попереднього натягу, Н	F ₀	60,00
Зусилля пружини при попередній деформації, Н	F ₁	70,00
Зусилля пружини при робочій деформації, Н	F ₂	100,00
Зусилля пружини при максимальній деформації, Н	F ₃	104,44
Робочій хід пружини, мм	H	20,2
Довжина правого зачепу, мм	-	30,0
Довжина лівого зачепу, мм	-	30,0
Довжина пружини, мм	L ₀	124,60
Довжина пружини при попередній деформації, мм	L ₁	131,33
Довжина пружини при робочій деформації, мм	L ₂	151,52
Довжина пружини при максимальній деформації, мм	L ₃	154,51
Максимальне дотичне напруження, МПа	τ_{\max}	280,84
Допустиме дотичне напруження, МПа	[τ]	760,00
Модуль зсуву матеріалу, МПа	G	78500,00
Густина матеріалу, кг/м ³	ρ	8000
Маса пружини, кг	-	0,15
Довжина пружини у розгорнутому вигляді, мм	-	2071
Жорсткість пружини, Н/мм	-	1,486

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розрахунок гідравлічного обладнання та режимів роботи

3.3.1 Вибір робочого тиску

Вибір номінального тиску для віброущільнювача ($P_{\text{ном}} = 6,3$ МПа) є обґрунтованим [5], зважаючи на рекомендації та технічні характеристики гідравлічного обладнання, зокрема гідравлічних насосів (ГН) та гідромоторів (ГМ).

Зазначене значення 6,3 МПа є стандартним для багатьох типів гідравлічних систем, що забезпечує оптимальні умови роботи та відповідає вимогам безпеки і ефективності, а саме:

1. Зазначення номінального тиску повинно базуватися на максимальних значеннях, які підтримує гідравлічне обладнання. У випадку віброущільнювача, тиск 6,3 МПа є на рівні стандартної номінальної величини для таких систем.
2. Значення 6,3 МПа і 10 МПа — це загально прийняті номінальні тиски для різних типів гідравлічного обладнання, тому вибір значення 6,3 МПа є раціональним з точки зору функціональних характеристик.
3. Оскільки гідравлічні системи працюють під високим тиском, вибір номінального тиску 6,3 МПа забезпечує надійність і безпеку системи. Це значення відповідає більшості стандартних умов експлуатації, де не потрібен надмірно високий тиск.
4. Тиск 6,3 МПа дозволяє досягти оптимальної роботи віброущільнювача, зберігаючи при цьому енергоефективність і знижуючи ймовірність зносу гідравлічних компонентів.

Отже, вибір тиску 6,3 МПа для віброущільнювача є логічним та відповідає загальноприйнятим стандартам для гідравлічних систем такого типу.ється на 10 – 20% менше номінального.

$$P_c = (0,1 - 0,2) \cdot P_{\text{ном}} = 0,15 \cdot 6,3 = 0,945, \quad (3.13)$$

$$\Delta P = P_{\text{ном}} - P_c = 6,3 - 0,945 = 5,355. \quad (3.14)$$

									ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3.3.2 Розрахунок та вибір гідроциліндрів

При подачі рідини в поршневу порожнину діаметр поршня D , мм, дорівнює:

$$D_{\text{ц}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{\text{ц}}}{\pi \cdot \Delta P \cdot \eta_{\text{ГМЦ}}}}, \quad (4.15)$$

де $F_{\text{ц}}$ – зусилля на штоку поршня, Н;

$\eta_{\text{ГМЦ}}$ – гідромеханічний ККД гідроциліндра ($\eta_{\text{ГМЦ}} = 0,95 \dots 0,98$).

Гідроциліндри для розтиснення «лап» конструкції.

$$D_{\text{ц}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{208,88}{\pi \cdot 5,355 \cdot 0,96}} = 7,2. \quad (4.16)$$

Приймаємо гідроциліндр «лап» за ДСТУ 3455.1-96 «Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи»

- діаметр циліндра, мм.....15;
- діаметр штока циліндра, мм.....10;
- необхідний хід штока, мм.....21;
- максимальна швидкість переміщення штока ГЦ, м/с.....0,3.

При спарених гідроциліндрах діаметр циліндра D , мм, визначаємо за формулою

$$D_{\text{ц}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{\text{ц}} \cdot \varphi}{\pi \cdot \Delta P \cdot \eta_{\text{ГМЦ}} \cdot (\varphi + 1)}}, \quad (3.17)$$

$\varphi = 1,6$ постійна величина для гідроциліндрів

$$D_{\text{ц}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{500 \cdot 1,25}{\pi \cdot 5,355 \cdot 10^6 \cdot 0,96 \cdot (1,6 + 1)}} = 0,008. \quad (4.18)$$

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо гідроциліндр переміщення за за ДСТУ 3455.1-96 «Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи»:

- діаметр циліндра, мм.....20;
- діаметр штока циліндра, мм.....12;
- необхідний хід штока, мм.....300;
- максимальна швидкість переміщення штока ГЦ, м/с.....0,3.

Для визначення діаметра штока гідроциліндра переміщення двосторонньої дії та перевірки площі штокової порожнини необхідно провести розрахунок, який включає врахування робочих параметрів циліндра, сили, яка потрібна для підйому конструкції, а також характеристик самого циліндра.

Розрахунок включає визначення діаметру штока, враховуючи, що площа штокової порожнини повинна бути достатньою для підйому конструкції

$$d = D_{\text{ц}} \cdot \sqrt{\frac{\varphi - 1}{\varphi}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{1,6 - 1}{1,6}} = 12. \quad (3.19)$$

З формули (3.15) виведемо та обрахуємо фактичне зусилля для підйому конструкції $F_{\text{ц}}$

$$F_{\text{ц}} = \frac{D_{\text{ц}}^2 \cdot \pi \cdot \Delta P \cdot \eta_{\text{ГМЦ}}}{4 \cdot \varphi} = \frac{0,02^2 \cdot \pi \cdot 5,355 \cdot 10^6 \cdot 0,96}{4 \cdot 1,6} = 1009 > 500. \quad (4.20)$$

3.3.3 Визначення витрат гідроциліндрів

Щоб розрахувати витрати при подачі в поршневу порожнину спарених гідроциліндрів, зазвичай використовується формула, яка враховує витрати $Q_{\text{п1,п2}}$, м³/с при подачі в поршневу порожнину.

$$Q_{\text{п1}} = Q_{\text{п2}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{ц}}^2 \cdot V_{\text{ц}} / \eta_{V_{\text{ц}}}, \quad (3.21)$$

де $V_{\text{ц}}$ – швидкість гідроциліндра, м/с;

$\eta_{V_{\text{ц}}}$ – об'ємний ККД гідроциліндра. $\eta_{V_{\text{ц}}} = 0,98 - 0,99$.

Приймаємо $\eta_{V_{\text{ц}}} = 0,99$.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{пmax}} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 11,4 \text{ л/хв}, \quad (3.28)$$

$$V_{\text{н}} = 8,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 8,26 \text{ см}^3. \quad (3.29)$$

Вибираємо насос НШ-10Е. Параметри наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 4.2 – Параметри гідронасоса НШ-10Е

робочий об'єм V , см^3	10
об'ємний ККД, не менш	0,92
загальний ККД, не менш	0,83
тиск, МПа:	
номінальний	10
максимальний	14
частота обертання, с^{-1} :	
номінальна	25
номінальна	32

3.3.5 Вибір трубопроводів.

Зазвичай умовний прохід (D_y) приблизно дорівнює внутрішньому діаметру труби d_y , м., тому у більшості випадків можна прийняти, що $D_y \approx d_y$.

Однак, для точних розрахунків іноді враховуються додаткові коефіцієнти та параметри, що можуть впливати на характеристики трубопроводів.

Розрахунок умовного проходу трубопроводів проводимо за формулою

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot v_p}}, \quad (3.30)$$

де Q_p – витрата рідини в розрахунковому трубопроводі, $\text{м}^3/\text{с}$;

v_p – швидкість руху рідини, м/с. Приймаємо $v_p = 4$ м/с.

Умовний прохід трубопроводів від розподільника до плунжерних гідроциліндрів

									ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 4}} = 0,003. \quad (3.31)$$

Приймаємо зі стандартного ряду 8 мм.

Умовний проход трубопроводів від розподільника до гідроциліндрів переміщення

$$D_y = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,5 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 4}} = 0,0055. \quad (3.32)$$

Приймаємо зі стандартного ряду 10 мм.

Тобто в усіх випадках приймаємо найменший стандартний діаметр трубопроводів.

3.3.6 Вибір основного гідро обладнання

Для правильної роботи обраної гідро схеми потрібно вибрати:

- гідро розподільники;
- гідро бак;
- запобіжний клапан прямої дії;
- фільтри.

Основними параметрами для вибору гідро розподільників та пристрою керування потоком рідини являється номінальний тиск $P_{\text{ном}}$ та діаметр умовного проходу D_y .

Обираємо гідро розподільники марки P102 з електричним керуванням. Умовні графічні позначення обраних гідро розподільників показані на рисунку 3.3. Технічні дані наведені в таблиці 3.3.

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.7 Визначення потужності привідного електродвигуна

Потужність привідного електродвигуна N , Вт, визначаємо за формулою

$$N = V \cdot n \cdot P_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{м}}, \quad (3.36)$$

де V – об'єм насоса, м^3 ;

n – кількість обертів привідного електродвигуна, об./с;

$P_{\text{ном}}$ - номінальний тиск в гідросистемі, Па, $P_{\text{ном}} = 6,3 \text{ МПа}$;

$\eta_{\text{о}}$ – об'ємний ККД насоса. $\eta_{\text{о}} = 0,92$.

$$N = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{960}{60} \cdot 6,3 \cdot 10^6 \cdot 0,92 = 927. \quad (3.37)$$

Приймаємо двигун АІР80В6 потужністю 1,1 кВт, частота обертання ротору двигуна $n = 920$ об./хв, маса двигуна $m = 15,3$ кг.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Охорона праці

Заходи з охорони запропоновано по відомим державним стандартам та методикам зокрема «ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві» та наведені в додатку 1.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

В даній кваліфікаційній магістерській роботі об'єктом дослідження являється вібраційна установка для формування довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням (тубобетонних виробів).

1. Запропонована конструкція вібраційної установки для ущільнення довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням (трубо бетонних виробів), яка складається з двох напівциліндричних металевих «лап», з'єднаних пружинами. Основне призначення цих пружин – розвинути достатній натяг, щоб накладки досить міцно притискалися до труби і сила тертя, що виникає між прокладками та трубою перевищувала вагу конструкції. На внутрішній стороні «лап» закріплені накладки. Діаметр кола, утворюємім лапами, відповідає діаметру труби, що ушільнюється. На зовнішній стороні «лап» встановлено навісний вібратор. Для нормального функціонування конструкції передбачений об'ємний гідропривід. Установка задовольняє потреби будівництва в я кісному ущільненні, має підвищенні техніко-економічні показники та експлуатаційну надійність і може застосовуватись для ущільнення виробів з тубобетону безпосередньо на будівельному майданчику.

2. На основі виконаних досліджень обґрунтовано динамічні параметри установки, а саме:

Частота коливань системи залежить від частоти вимушених коливань, що дає можливість визначити навантаження, при яких забезпечена робота установки в резонансному режимі, наприклад

- для частоти 25 Гц вимушуюча сила близько 213 Н буде викликати резонанс системи;
- для частоти 50 Гц резонанс наступатиме при вимушуючій силі близько 480 Н.

Рекомендовані значення роботи вібратора, виходячи з отриманих даних:

- при частоті в 25 Гц – 500 Н. Амплітуда коливань – 3,7 мм;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.

ЗМІСТ

Вступ

1

1. Аналітичний розділ. Огляд науково-технічної та патентної інформації

2. Дослідницький розділ.

Обґрунтування та побудова математичної моделі установки для ущільнення довгомірних бетонних виробів з зовнішнім армуванням.

3. Розрахунково-конструктивний розділ.

4. Охорона праці

Висновки

Література

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист
					ФПБВ 2312 ПЗ

Д1. Розділ “Охорона праці”.

Д1.1 Аналіз шкідливих виробничих факторів, що виникають при експлуатації віброплощадки

При сучасному рівні будівельного виробництва більшість технологічних процесів (бетонні, планувальні, навантажувально-розвантажувальні та інші) виконуються за допомогою різноманітних машин, обладнання, засобів малої механізації, які створюють шум та вібрацію, які негативно впливають на людину. Для сучасного машинобудування характерно збільшення швидкості робочих органів та агрегатів різного типу обладнання, станків і різноманітних машин. Стає важко зрівноважити маси, які обертаються, чи рухаються поступально. В результаті виникають коливання, в ряді випадків їх супроводжують шкідливі виробничі фактори, які створюють негативні умови праці, наприклад, вібрація, що супроводжує роботу вібраційної площадки. Коливання поширюються по елементам конструкцій і прискорюють їх руйнування, і також шкідливо впливають на працюючого.

По характеру дії на організм людини вібрацію ділять на загальну та місцеву. Загальна вібрація передається на все тіло людини, а місцева – на руки працюючого. Можлива комбінована дія загальної та місцевої вібрації. Вібрації віброплощадки викликають коливання повітря, що передаються конструкціям споруд та фундаменту, а через нього ґрунту, в результаті чого коливання можуть виникати на робочих місцях, навіть в спорудах, що знаходяться далеко від віброплощадки.

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Д1.2 Заходи по безпечній експлуатації віброплощадки на стадії проектування.

Віброплощадка в своєму приводі має електродвигун, що працює від напруги 380 В. При випадковому замиканні фази на корпусі віброплощадки може виникнути небезпечність ураження електричним струмом.

В якості запобіжного пристрою використовуємо захисне заземлення. Захисне заземлення забезпечує захист людей від ураження електричним струмом при доторканні до металічних не струмоведучим частинам обладнання, які можуть бути під напругою в результаті пошкодження ізоляції електричних провідників.

Принцип дії захисного заземлення – це зниження до безпечних значень напруги дотикання і крокової напруги, що виникають при замиканні фази на корпус. Це досягається зменшенням потенціалу заземленого обладнання (в силу малого опору заземляючого пристрою 4...10 Ом), а також вирівнювання потенціалів заземленого обладнання і основи за рахунок збільшення потенціалу основи, на якій стоїть людина до значень, близьких до потенціалу заземленого обладнання.

Д1.2.1 Розрахунок захисного заземлення має за мету визначити параметри заземлення: кількість, розміри та розміщення одиничних заземлювачів і заземляючих провідників, при яких напруга дотикання і кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Проведемо даний розрахунок в наступній послідовності:

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Д1.2.1. Потрібне значення опору заземляючого контуру 4 Ом.

Д1.2.1.1. Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта Ψ

$$\rho_{розр} = \rho \cdot \Psi, \text{ Ом м,} \quad (Д1.1)$$

$$\rho_{розр} = 1 \cdot 10^2 \cdot 1,5 = 150$$

де ρ – наближене значення питомого опору ґрунту,
вибираємо

по таблиці 8 [23], для суглинка $\rho = 1 \cdot 10^2$ Ом м;

ψ – кліматичний коефіцієнт, приймаємо по таблиці 9 [2],
для суглинка при нормальній вологості $\psi = 1,5$

Д1.2.1.3 Визначаємо конфігурацію заземляючого контуру, тип і розміри вертикальних електродів.

Приймаємо, що електроди розташовані по контуру. В якості вертикальних електродів будемо використовувати стержні круглого перерізу діаметром 2,5 см, довжиною $l = 3,5$ м.

В якості горизонтального електрода використовуємо сталю смужку 35х4. Відношення відстаней між електродами до довжини електрода $\frac{a}{l} = 2$.

Д1.2.1.4 Визначаємо опір розтіканню струму вертикального одиничного електрода за формулою

$$R_e = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(l_n \frac{2l}{d} + 0,5 l_n \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом} \quad (Д1.2)$$

де l – довжина електрода, $l = 3,5$ м;

d – діаметр електрода.

t – відстань від верха землі до середини зануреного в землю електрода, $t = 2,25$ м.

					ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставивши всі необхідні значення у формулу (Д1.2) отримуємо

$$R_с = \frac{160}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3,5}{0,025} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 2,25 + 3,5}{4 \cdot 2,25 - 3,5} \right) = 48,6$$

Д1.2.1.5 Визначаємо орієнтовне число вертикальних електродів

$$n' = \frac{R_B}{R_n \eta_B}, \quad (\text{Д1.3})$$

$$n' = \frac{48,6}{4 \cdot 1} = 12,15 \approx 12,$$

де R_n – потрібний опір заземляючого контуру, $R_n = 4 \text{ Ом}$;

η_b – коефіцієнт використання вертикальних стержнів,

попередньо приймаємо $\eta_b = 1,0$

Д1.2.1.6 Визначаємо фактичну кількість вертикальних електродів

$$n = \frac{R_B}{R_n \eta_B} = \frac{48,6}{4 \cdot 0,67} = 18,13 \approx 20, \quad (\text{Д1.4})$$

де η_b – коефіцієнт використання вертикальних стержнів,

приймаємо по [2, с. 175], $\eta_b = 0,67$;

Приймаємо 20 вертикальних електродів.

										ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Д1.2.1.7. Визначаємо сумарну довжину горизонтального електрода

$$l_2 = a \cdot n, \text{ м}, \quad (\text{Д1.5})$$

$$l_2 = 5 \cdot 20 = 100$$

де a – відстань між електродами,

$$\frac{a}{l} = 2, \text{ звідси } a = 2l = 2 \cdot 2.8 = 5 \text{ м.}$$

Д1.2.1.8. Визначаємо опір розтіканню струму горизонтального електрода

$$R_2 = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l_2} \ln \frac{l_2^2}{b_n t_{\text{кр}}}, \text{ Ом}, \quad (\text{Д1.6})$$

$$R_2 = \frac{160}{2 \cdot 3.14 \cdot 100} \ln \frac{100^2}{0.02 \cdot 0.5} = 3.69$$

де b_n – ширина сталюї смуги

$$b_n = 40 \text{ мм} = 0.04 \text{ м};$$

$t_{\text{кр}}$ – відстань від верха землі до місця кріплення горизонтального електрода до оголовка.

$$t_{\text{кр}} = 500 \text{ мм} = 0.5 \text{ м.}$$

Д1.2.1.8. Визначаємо загальний опір заземляючого контуру

$$R_0 = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 \eta_2 + R_2 \eta_6 \cdot n}, \text{ Ом}, \quad (\text{Д1.7})$$

$$R_0 = \frac{48.6 \cdot 3.69}{48.6 \cdot 0.4 + 3.69 \cdot 0.67 \cdot 20} = 2.66,$$

										ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

де η_2 – коефіцієнт використання смуги по [2, с. 175],

$$\eta_2 = 0,4.$$

Опір заземлюючого контуру вимоги електробезпеки задовольняє.

Тобто $2,66 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$.

Схема заземлення показана на рисунку Д1.1

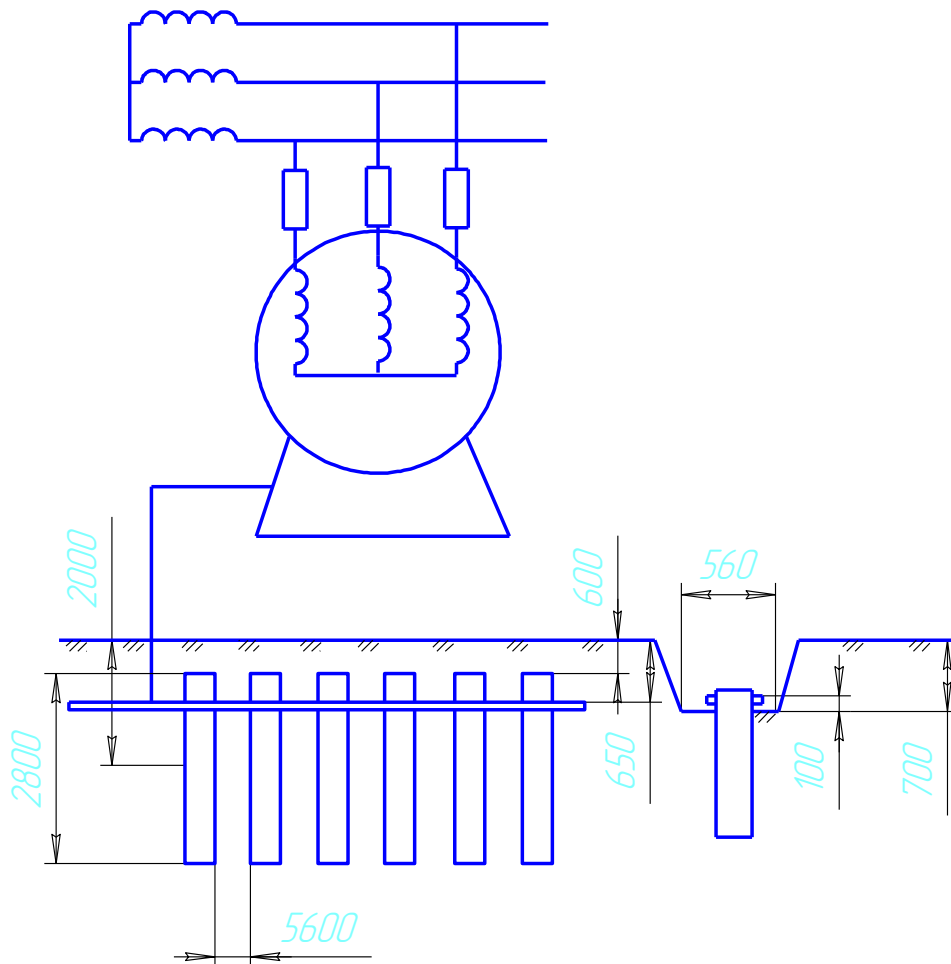


Рисунок Д1.1 – Схема заземлення

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Д1.2.2 Вібропогашуюча основа

Зменшити коливання, що передаються на робочі місця і будівельні конструкції, від динамічно неврівноважених машин можливо шляхом їх встановлення на масивні віброгасячі основи. Конструктивно віброгасячі основи виконуються з залізобетонної плити, по периметру якої виконується акустичний шов, що заповнюється легкими пружними матеріалами і призначений для усунення безпосередньої передачі коливань від фундаменту до будівельних конструкцій. Фундаменти під віброгасячі машини повинні задовольняти умови міцності й стійкості, а інтенсивність вібрації робочих місць, розміщених на них, не повинна перевищувати значень, що встановлені ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 Система стандартів безпеки праці. Вібраційна безпека. Загальні вимоги.

Розраховуємо віброгасячу основу під віброплощадку габаритом 6200x1500x450 мм і максимальною вантажопідйомністю 12т, загальною вагою 57000 Н, в тому числі рухомих частин $P_{пч}=42300$ Н. Потужність привода 30 кВт, частота обертання 1450 хв⁻¹, максимальний кінетичний момент 2900 Нм, амплітуда вібропереміщень 0,4 мм, частота вібрації 30 Гц. Фундамент встановлюємо на суглинок середньої пористості з нормативним тиском, що допускається $K=3 \times 10^5$ Па.

Динамічне навантаження, що збуджується дебалансом, визначаємо по заданому сумарному кінетичному моменту $M_k=2900$ Нсм і частоті вібрації 30 Гц.

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 30 = 188.4, \text{ с}^{-1}$$

											ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

$$N = \frac{M_k \omega^2}{g}, \text{ Н}, \quad (\text{Д1.8})$$

де $g=980 \text{ см/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$$\text{Тоді } N = \frac{2900 \cdot 188.4^2}{980} = 105035$$

Визначаємо сумарну жорсткість всіх опор

$$K = \frac{P_{пч}}{\lambda_{ст}}, \text{ Н/см}^2 \quad (\text{Д1.9})$$

де $P_{пч}$ – вага рухомих частин, Н,

$$P_{пч} = 42300 \text{ Н},$$

$\lambda_{ст}$ – статична осадка гумово металічних опор,

$$\lambda_{ст} = 0,5 \text{ м}$$

Тоді,

$$K = \frac{42300}{0.005} = 8460000$$

Розраховуємо власну частоту вертикальних коливань підресорних частин віброплощадки

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m_{пч}}}, \text{ с}^{-1} \quad (\text{Д1.10})$$

де $m_{пч}$ – маса рухомих частин, кг

$$m_{пч} = 4230,$$

					ФПБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{8460000}{4230}} = 44.72$$

$$f_0 = \frac{44.72}{2 \cdot 3.14} = 1.12 \text{ Гц}$$

Визначаємо нормальне динамічне навантаження, що передається на фундамент

$$N_\phi = \frac{N}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1}, \text{ Н} \quad (\text{Д1.11})$$

$$N_\phi = \frac{105035}{\left(\frac{188.4}{44.72}\right)^2 - 1} = \frac{105035}{16.75} = 6270.7$$

Виходячи з досліду проектування фундаментів під машини з динамічними навантаженнями, конструктивно приймаємо площу F_ϕ фундаменту. В першому наближенні задається маса фундаменту приблизно у два рази більша загальної маси віброплощадки

$$M_\phi = 12500 \text{ кг}$$

$$F_\phi = 6.2 \cdot 1.5 = 9.3, \text{ м}^2$$

Розраховуємо коефіцієнт жорсткості природної основи при вибраному ґрунті (суглинок), $R=3 \times 10^5 \text{ Па}$, $C_z=50 \text{ Н/см}^2$ (коефіцієнт пружного рівномірного стиску):

$$K_z = F_\phi C_z, \text{ Н/см}^2 \quad (\text{Д1.12})$$

$$K_z = 93000 \times 50 = 4650000$$

Визначаємо частоту власних вертикальних коливань фундаменту

										ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

– до експлуатації допускають тільки технічно справні машини. При планово-попереджувальному ремонті здійснюється контроль за параметрами вібрації. Параметри вібрації визначають для нових машин по даним технічних паспортів, для тих, що знаходяться в експлуатації і для всіх видів машин після ремонту – по даним фактичних замірів, що проводяться не рідше одного разу на рік, а для ручних машин – не рідше двох разів на рік;

– всі працівники, що попадають під вплив вібрації, забезпечуються індивідуальними засобами захисту від вібрації і шуму. Інтенсивний шум, особливо імпульсний і високочастотний, впливає і на нервову систему, сприяючи швидкому стомленню, послабленню уваги. Слід мати на увазі, що одночасна дія шуму і вібрації може принести більше шкоди організму, ніж окрема дія кожного з цих факторів;

– працівників, у яких виявлена вібраційна хвороба, переводять по висновку медичних закладів на роботу, не зв'язану з вібрацією;

– проведення позаурочних робіт з машинами, що створюють вібрацію, не допускається;

Значення шуму на робочих місцях регламентується Дія шуму залежить від його інтенсивності, частоти, терміну дії. Шум викликає погіршення слуху, психічне напруження чи стрес, вегетативний розлад, порушує можливість зосередитися і виконувати роботу.

Якщо при існуючій технології виробництва, техніці шумопоглинання і віброізоляції шум та вібрацію на робочих місцях знизити до припустимої норми не можливо, то працюючих слід забезпечити засобами індивідуального захисту (навушники, шлеми, заглушки, вкладиші, вібровзуття, віброрукавиці), що знижують шум і вібрацію до меж, встановлених нормами.

									ФЛБВ 2312 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

