Форма № Н-9.02

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
Магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу**

Виконав: здобувач VI курсу першого (бакалаврського) рівня, групи 601-ММв, спеціальності
133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Луговий В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Васильєв О.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Ващенко К.М.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ

Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГММ.601-ММв.012-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 601-ММв
_____ Вадим ЛУГОВИЙ
«20» 08 2024 р.

Керівник
к.т.н., доц.
_____ Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 08 2024 р.

Технологічний контроль
к.т.н., доц.
_____ Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 08 2024 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.
_____ Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 08 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.
_____ Микола НЕСТЕРЕНКО
«23» 08 2024 р.

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

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз.	Примітка
1						
2			Документація загальна			
3						
4			Вперше розроблена			
5						
6	А4	ГММ.601-ММВ.012-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	–	
7	А4	ГММ.601-ММВ.012-00.00.000А	Анотація	2	–	
8	А4	ГММ.601-ММВ.012-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка			
9						
10						
11						
12			Документація			
13			наукова			
14						
15			Вперше розроблена			
16						
17	А1	БГММ.601-ММВ.012-00.00.000ПМ	Дослідження робочих процесів			
18			установки для			
19			виготовлення			
20			бзалізобетонних виробів			
21			трубчастого перерізу.			
22			Презентаційні матеріали			
23						
24						

Перш. застос.

Справ. №

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орид.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Луговий		20.08
Перев.		Васильєв		20.08
Н.контр.		Васильєв		20.08
Затв.		Орисенко		20.08

ГММ.601-ММВ.012-00.00.000 ВР

Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу
Відомість магістерської роботи

Літера	Лист	Листів
Н	1	1

Національний університет імені Юрія Кондратюка, НІІІТР, 2024 р.

Копіював

Формат А4

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384
Форма № Н-9.01

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

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

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Магістр

Напрям підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, к.т.н., доцент
_____ **Олександр ОРИСЕНКО**
«20» 03 **2024 року**

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Луговому Вадиму Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: **Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу**

керівник роботи (проекту) **Васильєв Олексій Сергійович, к. т.н., доцент,**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» березня 2024 року № 309 ф,а.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «20» серпня 2024 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Відкриті джерела на подібну техніку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану питання. 2. Теоретичні передумови. 3. Експериментальні дослідження. Висновки. Список літератури.

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «18» березня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Аналіз сучасного стану питання	20.05.2024 р.	
2	Теоретичні передумови	22.06.2024 р.	
3	Експериментальні дослідження	20.07.2024 р.	
4	Перспективи розвитку обладнання	05.08.2024 р.	
5	Оформлення роботи	15.08.2024 р.	
6	Здача готової роботи	20.08.2024 р.	

Здобувач вищої освіти _____ **Вадим ЛУГОВИЙ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Олексій ВАСИЛЬЄВ**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми _____ **Микола НЕСТЕРЕНКО**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

В.С. Луговий. Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”, – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена питанням вдосконалення технологічних процесів виготовлення залізобетонних трубчастих виробів методом центрифугування.

Результати проведених теоретичних досліджень дозволяють визначити величину припустимої кутової швидкості обертання форми, при якій буде досягнута необхідна міцність формованого виробу, що дозволить обґрунтовано підходити до призначенню робочих режимів процесу центрифугування з погляду витрат потужності й ощадливої витрати електроенергії.

Експериментально визначено діапазони раціональних технологічних параметрів формування стояків СК: частоти обертання форми, часу на формування, водоцементного відношення.

Отримані результати дослідження дозволяють вдосконалювати вже існуюче обладнання для виготовлення залізобетонних виробів круглого перерізу.

Ключові слова: центрифуга, технологічне обладнання для формування, міцність на стискання, частота обертання форми, час на формування, водоцементну відношення, ефективність.

					ГММ.601-ММв.012 – 00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.		Луговий		20.08	Анотація	Літ.	Лист 1 / Листів 3
Перев.		Васильєв		20.08			
Н. контр.		Васильєв		20.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, НННІТР, 2024 р.	
Затв.		Орисенко		20.08			

Annotation

V.S. Luhovyi. Study of the work processes of the installation for the production of reinforced concrete products of tubular section. - Manuscript.

Qualification work for obtaining the educational and qualification level "master" in specialty 133 "Industrial mechanical engineering", National University "Poltava Polytechnic named after Yury Kondratyuk", Poltava, 2024.

The master's qualification work is devoted to the issues of improving the technological processes of manufacturing reinforced concrete tubular products by the centrifugation method.

The results of the conducted theoretical studies make it possible to determine the value of the permissible angular speed of rotation of the mold, at which the necessary strength of the molded product will be achieved, which will make it possible to reasonably approach the assignment of the operating modes of the centrifugation process from the point of view of power consumption and economical consumption of electricity.

The ranges of rational technological parameters for the formation of SK risers have been determined experimentally: frequency of rotation of the mold, time for formation, water-cement ratio.

The obtained results of the research make it possible to improve the existing equipment for the production of reinforced concrete products of round section.

Key words: centrifuge, molding technological equipment, compressive strength, mold rotation frequency, molding time, water-cement ratio, efficiency.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

ГММ.601-ММв.012–00.00.000ПЗ

Полтава – 2024 року

ЗМІСТ

Вступ 4
1 Аналіз сучасного стану питання 6
1.1 Загальні відомості про процес формування трубчастих виробів способом центрифугування 6
1.2 Конструктивні особливості обладнання для виготовлення залізобетонних трубчастих виробів 7
1.2.1 Центрифуга ремінна 8
1.2.2 Роликові центрифуги 10
1.2.3 Центрифуга осьова 20
2 Теоретичні передумови 24
2.1 Побудова математичної моделі процесу формування залізобетонних трубчастих виробів способом центрифугування 24
2.1.1 Визначення крутного моменту форми (опалубки) при формуванні 24
2.1.2 Визначення величини середнього тиску, що виникає в шарі бетонної суміші, що ущільняється, при формуванні 27
2.1.3 Обгрунтування можливості зменшення товщини стінки виробу, що формується за рахунок збільшення кутової швидкості обертання форми 28
2.2 Вплив кутової швидкості обертання форми на пружні властивості бетонної суміші, що ущільнюється 30
2.3 Визначення кутової швидкості обертання форми залежно від фізико-механічних властивостей бетону 33
2.4 Визначення припустимої кутової швидкості обертання форми, що забезпечує необхідну міцність формованих виробів 35

2.5 Використання маштабного фактора при переході від дослідногозразка устаткування до промислового 38
3 Експериментальні дослідження 40
3.1 Програма досліджень 40
3.2 Характеристика устаткування й матеріалів для проведення досліджень .. 40
3.3 Виявлення параметрів визначальних технологічний процес формування стійок залізобетонних типу СК 45
3.4 Визначення діапазонів раціональних технологічних параметрів процесу формування стійок типу СК в умовах технологічної лінії 60
Висновки 61
Список літератури 62
Презентаційні матеріали 65

Вступ

Актуальність роботи. Загальний обсяг необхідних капітальних вкладень для поетапної реалізації програми розвитку магістральних електричних мереж України до 2030 р. складатиме 47,5 млрд. грн.

Електроенергетика серед української економіки посідає одне з головних місць, бо Україна – великий споживач та виробник електроенергії.

Для цього необхідно створити нові та посилити діючі системоутворюючі зв'язки як серед окремих енергетичних районів, також і між регіонами та енергосистемами інших країн.

Аналіз існуючих на сьогоднішній день обладнання та технологій для виробництва продукції високовольтних ліній показав, що таке виробництво потребує удосконалення.

Особливої уваги заслуговує виробництво стояків залізобетонних опор, яке необхідно модернізувати з метою зменшення собівартості продукції і поліпшення її якості.

Потребують удосконалення технологічні лінії виробництва стояків залізобетонних опор, які виготовляються способом центрифугування.

Для умов підприємств збільшення рентабельності продукції може бути досягнуто завдяки втіленню нового ефективного обладнання та високочастотного режиму центрифугування при автоматизації процесів укладання та ущільнення бетонної суміші у формі зі скороченням часу на виготовлення вищевказаних виробів.

Мета досліджень. Підвищення продуктивності робочого обладнання для виготовлення стояків залізобетонних типу СК опор ЛЕП електропередач

способом центрифугування за рахунок використання високочастотного режиму формування при стабілізації умов заповнення форм бетонною сумішшю на підставі розкриття механізму такого процесу.

Завдання досліджень. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз діючого устаткування для формування довгомірних виробів способом центрифугування;

- теоретично описати процес формування залізобетонних стояків в умовах технологічної лінії з метою визначення основних показників роботи обладнання, що використовується: продуктивності, потужних витрат і часу, який для цього необхідний;

- перевірити можливість та доцільність збільшення швидкості обертання форми при формуванні стояків способом центрифугування;

- експериментальним шляхом визначити діапазони раціональних режимів використання обладнання для виготовлення залізобетонних стояків способом центрифугування;

- показати можливість переходу від дослідного устаткування до діючого в заводських умовах на підставі використання масштабних факторів згідно з результатами проведених досліджень.

Об'єкт дослідження - технологічний процес формування залізобетонних стояків типу СК.

Предмет дослідження - обладнання технологічної лінії для формування залізобетонних стояків типу СК способом центрифугування.

1 Аналіз сучасного стану питання

1.1. Загальні відомості про процес формування трубчастих виробів способом центрифугування.

Значну роль для створення теорії центрифугування вніс физико-хімічний інститут у Празі наприкінці XIX столітті [27]. Подальший розвиток теорія центрифугування бетонних сумішей одержала в роботах фізико-хімічної лабораторії в Тбіліському науково-дослідному інституті споруджень і гідроенергетики й на заводі ліній електропередач у м. Грозний. У цей час працювали такі відомі вчені як Ю.Я. Штаерман, В.В. Михайлов, Е.Є. Михельсон, по проектах яких було побудовано більш 30 тис. км ліній електропередачі, ділянок контактної мережі й ліній зв'язку. Результати цих досліджень були опубліковані в роботах [28, 29, 27].

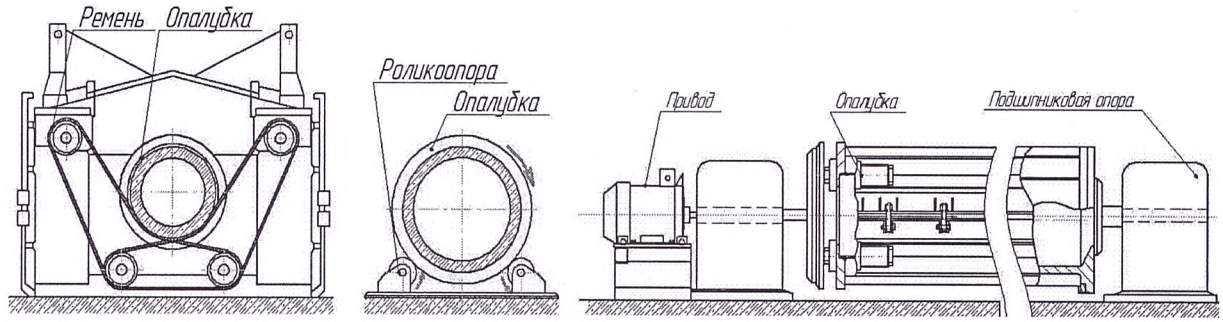
Перші науково-дослідні роботи в нашій країні по вивченню виробництва залізобетонних напірних труб були початі в 30-х роках у Всесоюзному науково-дослідному інституті водопостачання й санітарної техніки під керівництвом професора Н.Н. Гениева [30]. В 1932 році були побудовані цехи по виготовленню низьконапірних центрифугованих труб без сталевого циліндра на заводах у Горькому, Одесі, у Московській і Ленінградської областях [30].

В 1935-1937 роках побудований завод з виробництва залізобетонних труб у м. Баку. Тут освоєне виробництво тришарових залізобетонних низьконапірних труб [27, 31].

1.2 Конструктивні особливості обладнання для виготовлення залізобетонних трубчастих виробів.

Ущільнення суміші способом центрифугування роблять за допомогою спеціальних машин, які називаються центрифугами. Порівняльний аналіз типів центрифуг, проведений Ю.В. Чеховським і Б.Н. Кисельовим [40], показав, що немає жодного типу центрифуги, яка мала б за всіма показниками переваги перед іншими.

По способу закріплення форм розрізняють центрифуги ремінні з підвіскою форми на нескінченних ременях (рис. 1.1, а), роликові з вільним обертанням форм (рис. 1.1, б), що обгинають холості й приводні шківи, і осьові або шпиндельні (рис. 1.1, в) [8].



а) б) в)

Рисунок 1.1 – Схеми центрифуг: а – ремінна; б – ролікова; в – осьова.

Осьові центрифуги мають високі швидкості обертання й дозволяють ущільнювати тверді суміші. Недолік їх - складність конструкції й труднощі завантаження суміші у форму. Застосовуються вони для виробництва відносно коротких виробів.

Роликові центрифуги простіше у виготовленні, однак їх недолік - значний шум при роботі. Крім того, вони вимагають високого ступеня збалансованості форми, а якщо ні, то, можливе скидання форми з верстата.

Ремінні центрифуги менш чутливі до балансування форм, не такі гучні при роботі, але вимагають підвищеної уваги через зношування ременів.[9, 10, 11, 12].

1.2.1 Центрифуга ремінна

Серед відцентрових верстатів, застосовуваних для виготовлення залізобетонних довгомірних виробів кільцевого перетину особливе місце займають центрифуги з вільною підвіскою форм, що приводяться в обертання пасовою передачею [20].

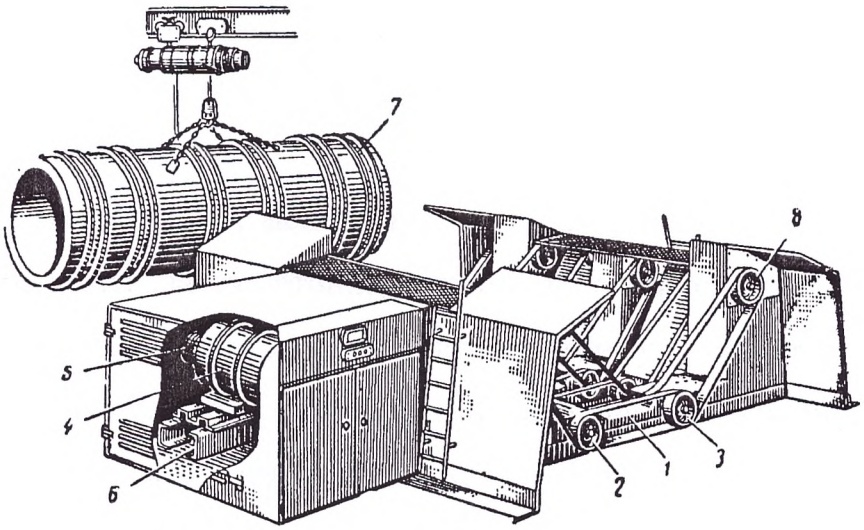
У цей час відоме кілька типів центрифуг з вільною підвіскою форм, але їх загальною характерною рисою є укладання форми безпосередньо на приводні паси.

У ремінних центрифугах форма з бетонною сумішшю обертається навколо власної осі інерції, завдяки чому виявляється автоматично збалансованою, причому, при великій швидкості обертання досягається значний гіроскопічний ефект, тобто більша стійкість форми, що обертається. Ремені розташовують на кожній опорі в одній площині або схрещують. У другому випадку (рис. 1.2) досягається великий кут обхвату форми, менше проковзування й зношування ременів, більш низьке розташування центру ваги форми з бетонною сумішшю щодо опорних роликів, що забезпечує більшу стійкість обертовій формі.

Правильна установка форми на ременях досягається при малих обертах за допомогою регульованих гвинтових домкратів через люки. Регулюванням усувається набігання ременів на бандажі форми. Домкратами підтягуються або послабляються крайні групи несучих ременів.

Привод центрифуги здійснюється від триступінчастого агрегату двигунів постійного струму із широким регулюванням швидкостей обертання. Для цієї мети в електроустаткуванні передбачена пускова й контрольно-регулююча

апаратура, розташована в станції керування [22]. Однак останнім часом почали використовувати приводи із двигунами змінного струму, а регулювання частоти обертання форми здійснювати за допомогою частотних перетворювачів.



1 – рама машини; 2 і 3 – привідні шківи; 4 – привод; 5 – муфта;

6 – натяжний пристрій; 7 – опалубка; 8 – ведені шківи.

Рисунок 1.2 – Схема стрічкової машини центрифугування.

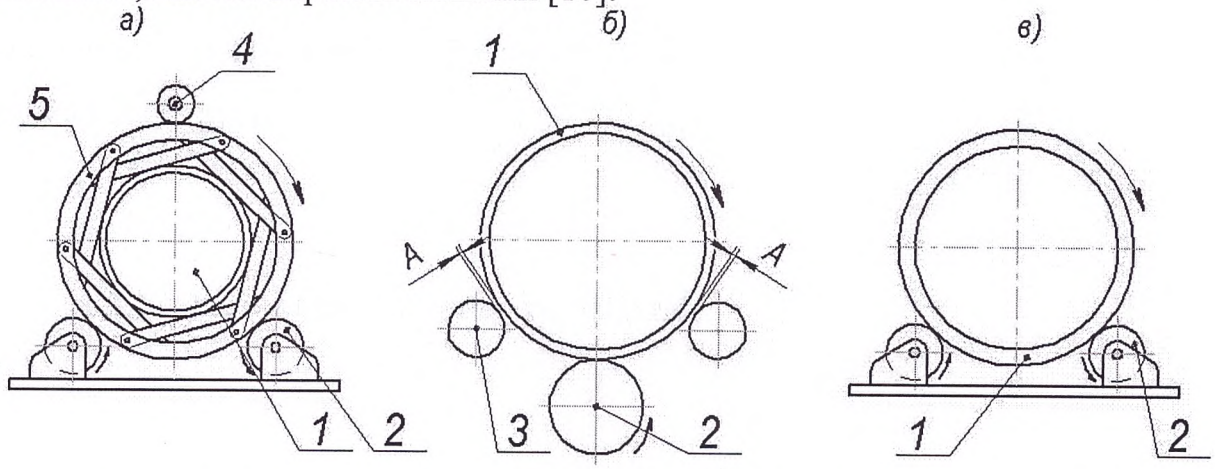
До переваг центрифуг з вільною підвіскою форм відносяться: плавність роботи й автоматичне самобалансування форм, простота конструкції форм і їх невелика вага. Універсальність верстата, що допускає без переналагодження використання форм різного діаметра.

Незважаючи на перераховані переваги, центрифуги з вільною підвіскою форм не одержали широкого поширення. Це пояснюється тим, що в процесі роботи ремені нерівномірно витягаються, що приводить до порушення самоурівноваженості форм у процесі їх обертання. Крім того, при повільному обертанні спостерігається розгойдування форм, що затрудняє заповнення їх бетонною сумішшю за допомогою живильників [21].

1.2.2 Роликові центрифуги

При освоєнні формування стійок залізобетонних опор СК способом центрифугування були використані центрифуги різних типів: закриті, відкриті трьохролікові й відкриті двохролікові. Тривала експлуатація цих машин виявила їхні переваги й недоліки.

До переваг машини для центрифугування закритого типу слід віднести можливість формувати залізобетонні вироби в спрощених опалубках, без спеціальних бандажів (рис. 1.3, а). Однак центрифуга закритого типу має наступні недоліки: необхідність спеціального самохідного рольганга для подачі опалубки усередину самих бандажів, що центрифугують, що вдвічі збільшує займану виробничу площу; швидке зношування підшипників опорних котків і часту поломку затискних діафрагм через більші зусилля, що виникають у цих вузлах при центрифугуванні; необхідність роздільного затиснення кожної діафрагми, що збільшує витрати важкої фізичної праці при закріпленні опалубки в машині; висока вартість машини [10].



а – двохроликова закритого типу з діафрагменним затисненням опалубки;

б – трьохроликова відкритого типу; в – двохроликова відкритого типу.

1 – опалубка; 2 – котки; 3 – опорні ролики; 4 – ролик, що обмежує; 5 – бандаж з діафрагменним затискачем (А - обов'язковий гарантійний зазор 5-8 мм).

Рисунок 1.3 – Принципові схеми центрифуг

Трьохроликова машина, що центрифугує, відкритого типу (рис. 1.3, б) зручна тим, що дозволяє встановлювати опалубку краном, опускаючи її зверху, що скорочує виробничу площу, займану машиною. Недоліки трьохроликової машини: під час центрифугування виникають більші динамічні зусилля через удари опалубки по опорних роликах через наявність зазору А; ободи опалубки стикаються із привідними роликами по одній лінії, внаслідок чого при запуску машини опалубка часто пробуксовує.

Досвід експлуатації цих двох центрифуг дозволив створити більш сучасну двохроликовую машину для центрифугування відкритого типу (рис. 1.3, в) [5]. До переваг цієї машини слід віднести торкання ободів форми одночасно із двома привідними роликами, завдяки чому запуск машини відбувається без пробуксовок, а також простота вивірки машини завдяки пересуванню роликових опор кожної пари, зручність установки опалубки, можливість формування виробу способом центрифугування в опалубках з бандажами різних діаметрів, не прибігаючи до переналагодження, що важливо при експлуатації опалубок, що пройшли ремонт і закомплектованими бандажами зміненого діаметра.

Недоліком машини є монтаж об'ємного й важкого фундаменту; внаслідок виникнення великих вібрацій спостерігається постійне зношування роликоопор і бандажів опалубки.

1.2.2.1 Роликова центрифуга МЦО-1.

Машина має десять барабанів закритого типу, усередині яких на час центрифугування закріплюють опалубку з покладеної в неї бетонною сумішшю [10]. Кожний барабан обертається в трьох парах роликів, розташованих відносно один одного під кутом в 120°. Обидві станини встановлені на загальній рамі й на одному фундаменті. Для концентричного затиснення опалубки усередині

барабанів кожний з барабанів має самоцентрувальний затискач, що діє за принципом діафрагм фотоапаратів.

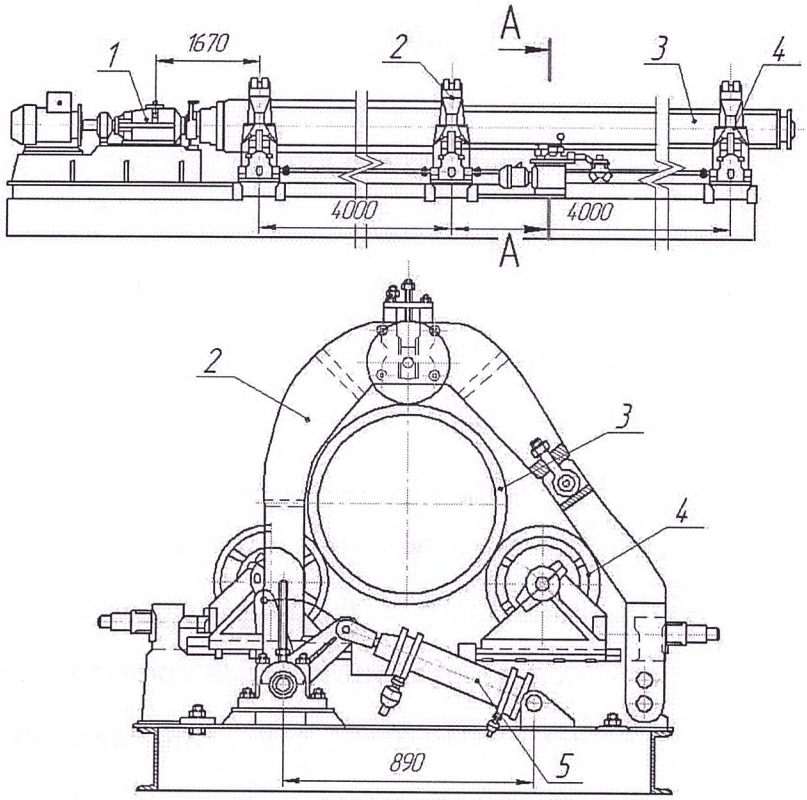
Обертання барабанів, а отже, і опалубки здійснюється від єдиного привода через загальний вал і систему пасових передач, де в якості ведених шківів використовуються зовнішні поверхні барабанів.

Оскільки центрифуга МЦО-1 – машина закритого типу, опалубку з бетонною сумішшю доводиться встановлювати в ній методом «всування». Для цього машина має прийомний рольганг із самохідними роликами. Обертаючись, ролики вводять лежачу на них опалубку в барабани центрифуги, де її закріплюють. На час центрифугування ролики рольгангів опускаються. Вивід опалубки після центрифугування здійснюється тим же рольгангом [6].

До переваг машини для центрифугування закритого типу (тип МЦО-1) слід віднести можливість формувати залізобетонні вироби в спрощених опалубках, без спеціальних бандажів. Однак центрифуга закритого типу має наступні недоліки: необхідність спеціального самохідного рольганга для подачі опалубки усередину бандажей, що самоцентруються, це вдвічи збільшує виробничу площу; швидке зношування підшипників опорних катків та часту поломку затисних діафрагм від віликих, що виникають в цих вузлах при центрифугуванні; необхідність окремого затискання кожної діафрагми, що збільшує витрати важкої фізичної праці при закріплені опалубки в машині; висока вартість машини [13].

1.2.2.2 Центрифуга МЦО-2

Машина МЦО-2 (рис. 1.4) виконана за схемою двохроликової машини відкритого типу [9]. Призначена для виготовлення стійок як із частково напруженою стрижневою арматурами, так і з повністю напруженою дротовою арматурами.



1 – привод; 2 – захисний поворотний пристрій; 3 – опалубка; 4 – роликоопори; 5 – гідропривід притиску верхнього ролика.

Рисунок 1.4 – Машина центрифугування МЦО-2.

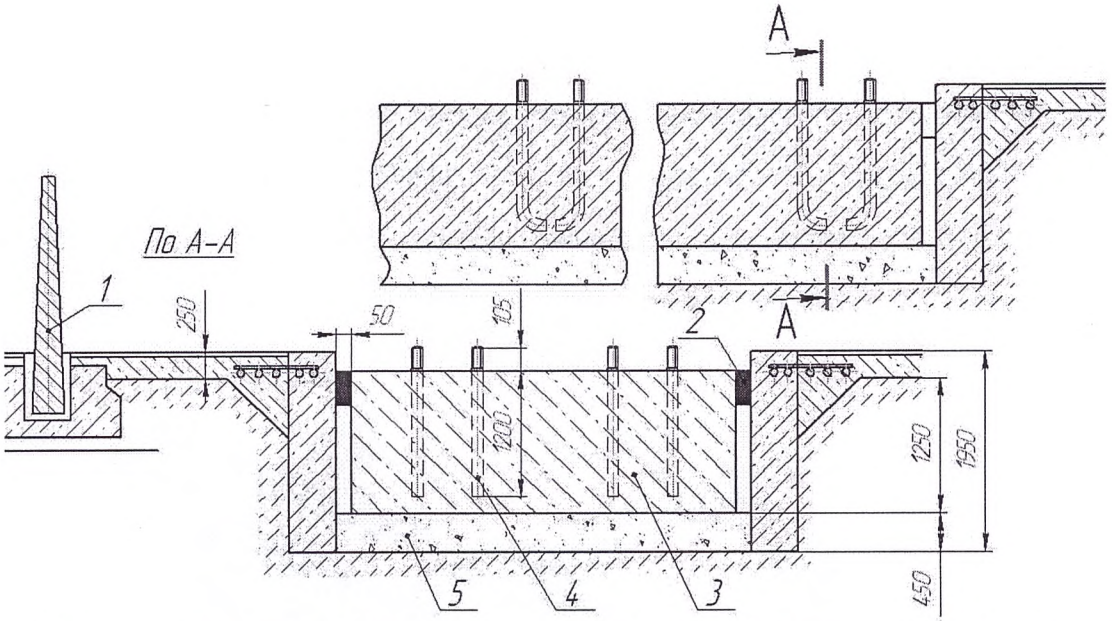
Центрифуга має до семи пар приводних роликів, розташованих із кроком 4,2 м. Машини деяких моделей мають додаткову (восьму) пару приводних роликів, що дозволяє виготовляти стійки, довжина яких кратна 2,1 м.

Привод 1 містить у собі приводний двигун постійного струму зі змішаним побудженням, мотор-генератор і мотор-збудник, що забезпечують плавне регулювання числа обертів машини, як на ручному, так і в автоматичному режимах. Необхідний режим установлюється поворотом ключа на пульті [14].

Передбачена робота машини, як у закритому приміщенні, так і на відкритому повітрі (у районах з жарким кліматом). В останньому випадку закрите приміщення необхідне тільки для електроустаткування (двигун-генератора, двигун – збудника, пускової апаратури). Опорна рама машини являє собою зварену конструкцію із профільного прокату, розділену на окремі секції. Кожна секція виготовляється самостійно й має свої посадкові місця для установки того або іншого вузла. Зібрану раму ретельно перевіряють, закріплюють на фундаментних болтах і заливають бетонною сумішшю.

Опори 4 являють собою рознімні конструкції з конічними роликопідшипниками, у яких обертаються вали з насадженими на них приводними котками. На кінцях валів закріплені обойми зубчастих муфт. Усі приводні котки з'єднані між собою проміжними валами із зубчастими муфтами. Проміжну опору встановлюють посередині між станинами з опорами; вона служить для зменшення прогину проміжних валів при їхньому обертанні. Опора складається з листової рами й закріплених на ній корпусів підшипників. У корпусах підшипників вмонтовані вали на шарикопідшипниках.

Велике значення для стабільної роботи машини має конструкція фундаменту (рис. 1.5). Фундамент робиться вільноплаваючим, щоб він гасив виникаючі вібрації. Для цього стінки котловану фундаменту викладають бутом, дно котловану засинають шаром щебенів товщиною до 100 мм, поверх якого укладається спеціальна гума, на гуму укладають бетонні плити, замонолічивають їх, а іншу частину котловану бетонують. При цьому, суміш подають у заздалегідь приготовлену опалубку, при зазорі в 50 мм між основним фундаментом і бічною стінкою. Надалі, після схоплювання бетону, зазор між ним і бутовою стінкою заповнюють клоччям, повстю або іншим подібним матеріалом.



1 – захисна стінка; 2 - смоляна або гумова прокладка; фундамент (бетон марки В15, армований каркас із гарячекатаної сталі класу АІІ); 4 – анкерні болти; 5 – піщана подушка із грубозернистого піску.

Рисунок 1.5 – Фундамент машини ЦФО.

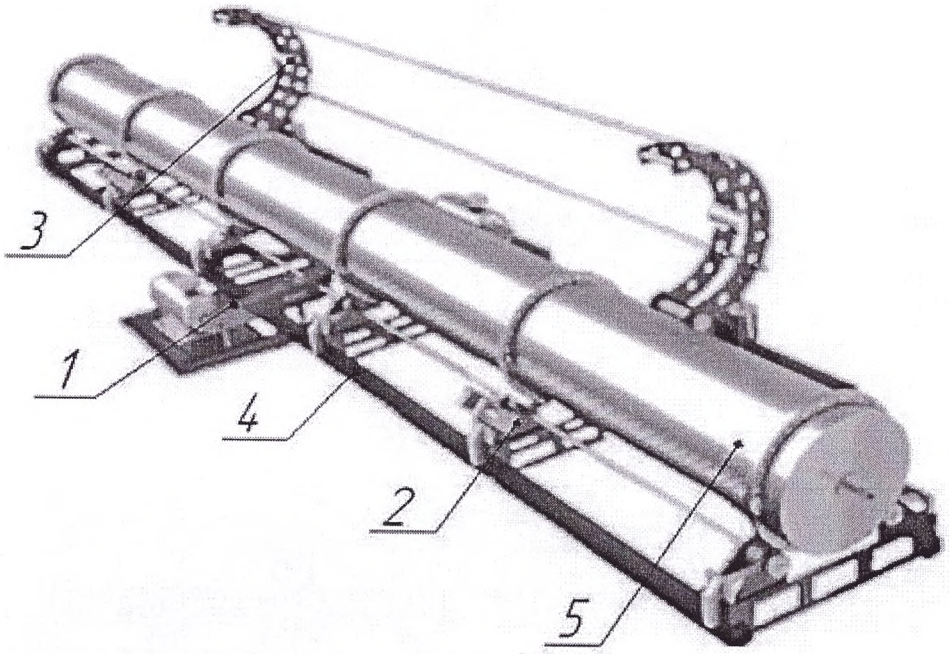
На підготовлений фундамент із заздалегідь вмонтованими болтами встановлюють раму, що полягає з окремих секцій. Перевіряють взаємне розташування секцій рами, після чого роблять остаточне затягування всіх фундаментних болтів.

У конструкції машини МЦО-2 частково змогли передбачити гасіння вібрації, переданої від машини на фундамент, але шум як і раніше перевищує норми.

1.2.2.3 Центрифуга МР-270.

Центрифуга МР-270 є модернізацією розглянутої раніше центрифуги МЦО-2 [15], що має індивідуальний привод. Модернізація проводилася на основі вивчення заводського досвіду експлуатації центрифуг МЦО-2 з урахуванням

рекомендацій цих заводів. У верстаті зроблені наступні основні зміни: спрощений електропривод, удосконалена конструкція опорних котків шляхом уведення пружинних амортизаторів, що дозволяють зменшити вібрацію машини й підвищити якість стійок, що виготовляються, а також трохи змінені інші вузли з метою спрощення й підвищення надійності верстата.



1 – привод; 2 – проміжна опора; 3 – запобіжний пристрій; 4 – рама; 5 – опалубка.

Рисунок 1.6 – Центрифуга МР-270 .

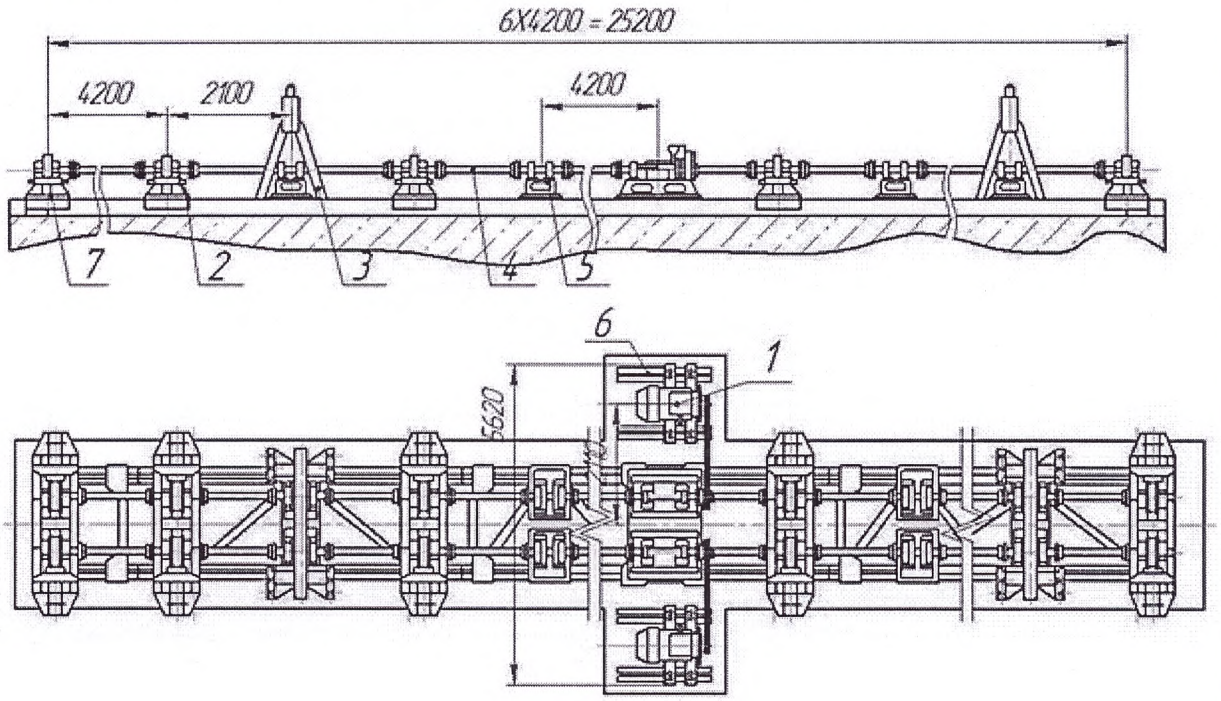
Як і раніше в машин такого типу залишилися недоліки в конструкції роликоопор і замків напівформ, також не вирішена проблема з початковою пусковою потужністю.

1.2.2.4 Центрифуга МР-280.

Машина МР-280 (рис. 1.7) вільної роликової конструкції, складається з восьми пар опорних котків, сім з яких розташовані із кроком 4,2 м, у крайньому

прольоті верстата встановлена восьма пара опорних котків, що дає можливість виготовляти стійки довжиною, кратної 2,1 м. Привод верстата здійснюється електродвигуном постійного струму із плавним регулюванням числа обертів [10].

Центрифуга складається з наступних основних вузлів: опорної рами; станин з опорами; провідних валів; запобіжних пристроїв.



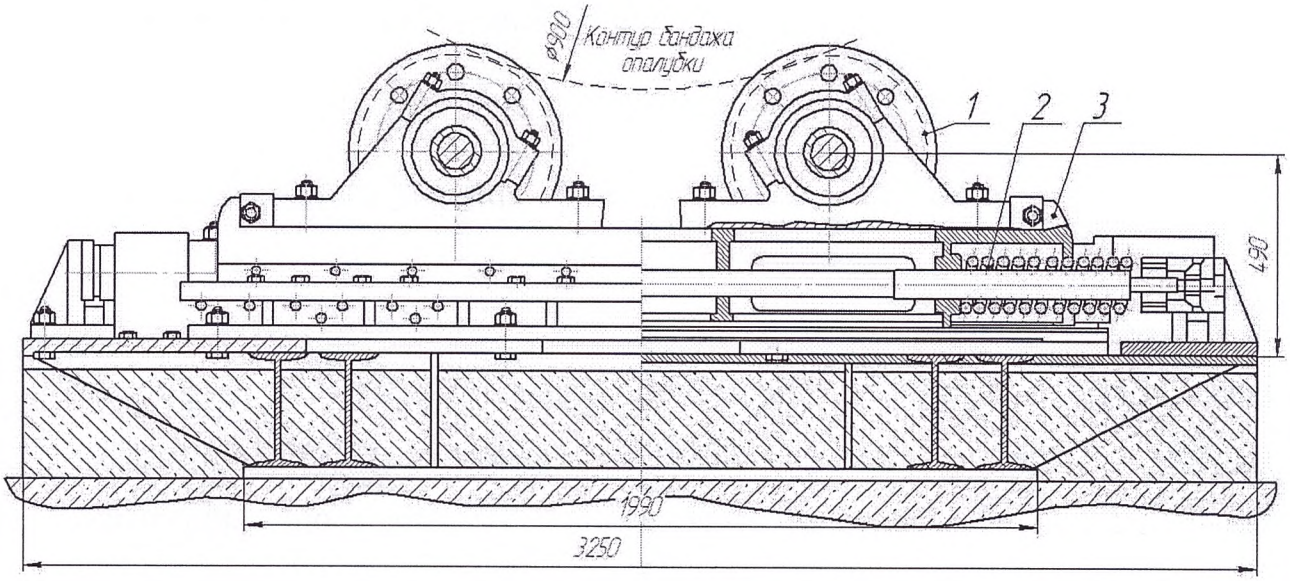
1 – привод, 2 – роликоопора; 3 – захисний поворотний механізм, 4 – приводний вал; 5 – приводна роликоопора; 6 – натяжний механізм привода; 7 – роликоопора глуха.

Рисунок 1.7 – Центрифуга МР – 280.

Опорна рама являє собою зварену конструкцію із профільного прокату, що полягає з окремих секцій. Кожна секція виготовляється самостійно й має свої посадкові місця. Рама збирається на фундаменті послідовно по секціях, ретельно перевіряється, закріплюється на фундаментних болтах і заливається бетонною сумішшю.

Відмінною рисою центрифуги є наявність амортизаційного пристрою.

Амортизаційний пристрій (рис. 1.8) забезпечує самоустановлення станин із привідними й опорними котками, тобто ковзання котків по бандажах опалубки в напрямку, перпендикулярному осі верстата. Із застосуванням амортизаційних пристроїв з потужними спіральними пружинами підвищився строк експлуатації центрифуги, збільшилася оборотність опалубки. Значно покращилася якість залізобетонних стійок. Крім того, за рахунок зменшення вібрації центрифуги й опалубки поменшав шум, створюваний центрифугуванням, а також створилися сприятливі умови роботи оператора машиніста.



1 – коток; 2 – амортизаційний пристрій; 3 – корпус котків.

Рисунок 1.8 – Опорні приводні котки центрифуги МР – 280 з амортизаційним пристроєм

Корпус проміжних опор установлюється посередині між станинами з опорами, а отже, зменшується прогин валів. Опорні вали змонтовані на сферичних роликопідшипниках. З'єднання валів між собою здійснюється за допомогою зубчастих муфт.

Запобіжний пристрій, створений для запобігання викиду обертової опалубки із приводних котків, також перетерпів деяких змін в порівнянні із запобіжним пристроєм на машині МЦО-2. Запобіжний пристрій на центрифузі

МР-280 являє собою зварену конструкцію, що полягає зі стійок й траверси, що повертається.

Основні особливості конструкції центрифуги МР-280: збільшення числа приводних електродвигунів встановленої потужності з 75 до 150 кВт, можливість центрифугування в ній стійок, що мають діаметр D = 800мм. Вимоги до установки машини, вивірці опорних котків центрифуги МР-270 і МР-280 залишаються такими ж, як і для раніше розглянутих центрифуг.

Недоліком машин такого типу є неможливість застосування високооборотних режимів центрифугування.

1.2.2.5 Центрифуга МР-380.

Центрифуга МР-380 є модернізацією машини МР-280 [10]. Відмінністю центрифуги МР-380 від центрифуги МР-280 є установка двох додаткових електродвигунів, що дозволяє здійснювати способом центрифугування виготовлення більш важких залізобетонних довгомірних виробів. Наприклад, стійок анкерно-кутових опор довжиною 26 м і діаметром 800 мм. Такі стійки мають обсяг бетону більш 3,5 м3.. Центрифуга, за винятком приводів і незначних змін конструкції приводних валів, повністю збирається з вузлів раніше розглянутої центрифуги МР-280.

Таким чином, особливістю такої машини є досить великий пусковий момент на валу, що перевищує його значення, у порівнянні з робочим режимом, в 15-20 раз. Таке збільшення пускового моменту пояснюється тим, що в початковий момент обертання при перших обертах виготовлення виробу бетонна суміш розташована в нижній частині опалубки ексцентрично. Після того, як на перших обертах бетонна суміш частково розподілена по внутрішній поверхні опалубки, відразу зменшується крутний момент на валу. При досягненні

швидкості обертання, що відповідає І-ой ступені, уся бетонна суміш рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні опалубки. При цьому, крутний момент на валу верстата різко знижується.

У зв'язку з викладеним, центрифуга обладнується електроприводом, що дозволяє забезпечувати високий пусковий момент. Якщо привод виконати з одним двигуном, для забезпечення пуску машини потужність двигуна буде багаторазово завищеною. Однак після проходження пускового режиму (досягнення І-ой ступені частоти обертання) цей електродвигун буде працювати з малим коефіцієнтом завантаження й низьким ККД, що приводить до неефективного коефіцієнта його використання. У зв'язку із цим, виникає необхідність у проектуванні більш економічного привода.

Провідними фірмами у світі, що випускають машини центрифугування є: компанія Cybernetic technologies, (Росія) [15], ТОВ Група «Sinopower» (Китай) [16], фірма Taeshin Corporation с Південної Кореї [17], Changzhou, Ltd (Китай) [18], PMW Group Малайзія [19] і інші.

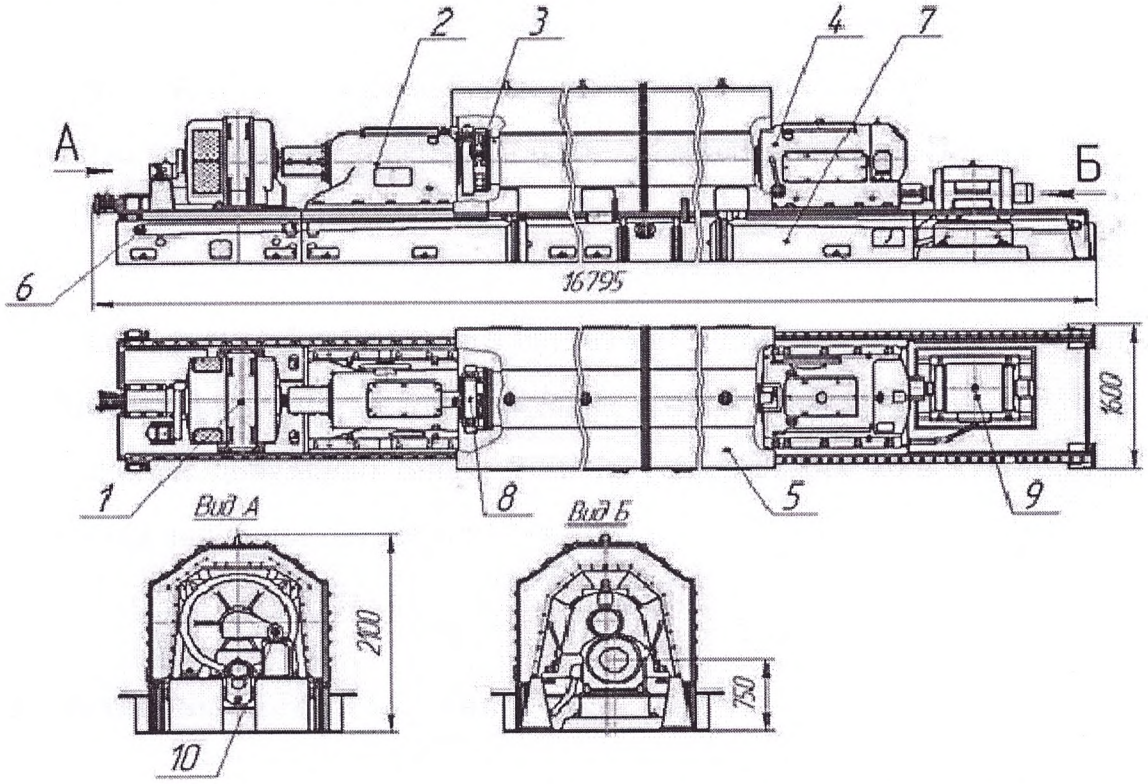
Таким чином, слід зазначити, що до переваг розглянутого ряду машин центрифугування роликового типу слід віднести: простоту конструкції й відносно невелику металоємність. Здатність регулювання роликоопор дає можливість формувати вироби різного діаметра й довжини при відносно невеликих переналагодженнях машини.

До недоліків цих машин слід віднести великий шум і вібрацію, що приводить до застосування додаткових елементів захисту й частому балансуванню й вивірці машин.

1.2.3 Центрифуга осьова

Осьова центрифуга (рис. 1.9) складається зі станини 1, передньої бабки 2, планшайби 3, задньої бабки 4, захисних кожухів 5, механізмів пересування

захисних кожухів 6, головного й розгінного приводів. Шпиндель приводиться в обертання регульованим електродвигуном головного привода 7 (постійного струму). Вал якого через еластичну муфту з'єднаний з валом шпинделя передньої бабки. Число обертів шпинделя плавно регулюється в межах від 60 до 1020 про/хв при постійному моменті. Планшайби встановлені на шпинделях передньої й задньої бабок, на яких є спеціальні хомути 8 для кріплення форми.



1 – головний привод, 2 – передня бабка, 3 – планшайба, 4 – задня бабка, 5 – захисний кожух, 6 – механізм пересування захисних кожухів, 7 – станина, 8 – хомути кріплення форми, 9 – розгінний привод, 10 – привод переміщення захисних кожухів.

Рисунок 1.9 – Осьова центрифуга.

Розгін форми здійснюється від спеціального електродвигуна 9 змінного струму через редуктор, з'єднаний зі шпинделем задньої бабки. При досягненні необхідного числа обертів автоматично вимикається розгінний привод і включається головний привод.

Захисні кожухи переміщаються спеціальним приводом від електродвигуна 10, зблокованого з головним приводом таким чином, що включення головного привода неможливо при розсунутих кожухах.

Внутрішній діаметр виробів, що виготовляються, 300-1000 мм, їхня довжина до 8 м. Потужність електродвигунів: головного привода - 60 кВт, розгінного привода - 55 кВт і механізму переміщення кожухів - 2,8 кВт [23].

Особливістю шпиндельних центрифуг закордонних заводів є відсутність цільних станин. У цих випадках бабки центрифуг кріплять безпосередньо до фундаментів за допомогою анкерних болтів. Це дозволяє значно знизити вагу верстатів [20].

Перевагами шпиндельних машин центрифугування є простота конструкції, можливість формовати вироби різного діаметра без перенастроювання та їх дуже висока продуктивність [40]. Недоліком таких машин є те, що немає можливості формовати вироби довжиною більш 8 м. Із усіх відомих конструкцій машин ЦФО, осьова має найгірші показники по якості продукції й металоємності.

1.3 Постановка мети й завдань

Проаналізувавши конструкцію різноманітних штукатурних і розчинозмішувальних агрегатів та установок, властивості будівельних та штукатурних розчинів і сам процес їх приготування та нанесення на оброблювані поверхні, можна зробити висновок, що в шкірного з їх є недоліки, у більшій чи меншій мірі. До цих недоліків можна віднести: роботові з привізними розчинами, тобто неможливість готувати розчин на будівельному майданчику, робота з розчинами певного типу, неефективність використання встановленої потужності, внаслідок приводу робочих органів змішувача й розчинонасоса від окремих електродвигунів та порівняно великі габаритні розміри та маса.

Тому, за позначку було поставлене розроблення малогабаритної установки для приготування та трубопровідного транспортування будівельних розчинів. В основу розробки було покладено універсальний привід робочих органів від одного електродвигуна та зменшення габаритних розмірів, для можливості швидкого переміщення установки по широкому фронту будівельних робіт.

Для досягнення поставленої мети необхідно було провести дослідження потужності яка споживається в процесі роботи змішувача й розчинонасоса, та як вона залежить від різних параметрів та факторів процесу. Також, треба було вирішити наступні завдання:

- спроектувати установку загалом, особливу увагу приділивши проектуванню привода робочих органів;

- провести конструкторські розрахунки технічних параметрів установки та підібрати електродвигун, виконати розрахунки на міцність, як окремих вузлів, так і окремих деталей;

2 Теоретичні передумови

2.1. Побудова математичної моделі процесу формування залізобетонних трубчастих виробів способом центрифугування.

2.1.1 Визначення крутного моменту форми (опалубки) при формуванні

Правильно організований процес формування залізобетонних трубчастих виробів характеризується тим, що при обертанні форми з кутовою швидкістю n_1, у якій суміш розподілена по всій довжині за рахунок дії відцентрових сил, виникає тиск, що пресує, під впливом якого із цементного гелю віджимається вода [28]. При цьому, у суміші зростає зв'язок цементного гелю й відбувається процес ущільнення бетонної суміші, заздалегідь покладеної в нерухливу напівформу роторним бетоноукладачем [9].

Далі, при обертанні форми із частотою $n_2 = 330 - 380$ хв$^{-1}$, бетонна суміш рівномірно розподілена як у радіальному, так і в поздовжньому напрямках, у результаті ущільнення способом центрифугування, утворює відформовану стійку з певною товщиною стінки.

При цьому, товщина відформованого виробу визначається як $\delta=R_1 - R_2$, де R_1 – внутрішній радіус форми (опалубки), R_2 –внутрішній радіус формованого виробу або відповідно зовнішній і внутрішній радіуси формованого виробу.

Для бетонної суміші розглядається варіант плоскої течії Куэтта [27] у циліндричній системі координат (r,z,φс віссю Oz по осі форми p = p(r), де

$\vartheta r\vartheta_z, \vartheta z$ – компоненти швидкості руху бетонної суміші щодо осі Oz уздовж радіуса поперечного переріза форми (r) і окружної координати(φ відповідно; при цьому, p – тиск, що виникає усередині бетонної суміші в процесі її ущільнення за рахунок дії відцентрових сил.

У циліндричній системі координат рівняння Навье – Стокса для в'язкопластичного середовища (бетонної суміші у формі при наявності симетрії щодо осі Oz) мають вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{\vartheta_\varphi{}^2}{r} = \dfrac{1}{\rho_0} \cdot \dfrac{\partial p}{\partial r} \\ \dfrac{\partial^2 \vartheta_\varphi}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r} \cdot \dfrac{\partial \vartheta_\varphi}{\partial r} - \dfrac{\vartheta_\varphi}{r^2} = 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

При цьому $\vartheta\vartheta r = \vartheta r$

Друге рівняння системи (2.1), при цьому, можна представити як:

$$\vartheta_\varphi = \vartheta + \frac{b}{r}, \quad \text{де} \quad (2.2)$$

Сталі a і b знаходять із граничних умов, згідно з якими шар бетонної суміші, що ущільнюється, у формі (опалубці) обертається з тою же кутовою швидкістю, що й форма. Таким чином, згідно із течією Куэтта [27], для розглянутого випадку формування залізобетонної стійки у формі способом центрифугування можна записати наступну умову:

$R_2 \rightarrow R_1$. У такому випадку:

$$\vartheta_\varphi = \frac{\omega_1 R_1^2}{r}. \quad (2.3)$$

При цьому, слід мати на увазі, що зі збільшенням кутової швидкості обертання форми (опалубки) товщину формованого виробу $\delta = f(\omega)$ слід розглядати функцію кутової швидкості обертання форми. Збільшення кутової швидкості ω відбувається при зростанні відцентрових сил, які визначають ступінь ущільнення суміші у формі. Отже, з ростом величини відцентрових сил необхідні показники міцності виробу можуть бути досягнуті при зменшенні його товщини з дотриманням умови R2 → R1.

Крім того, при розгляді процесу формування стійок способом центрифугування слід брати на увагу сили тертя, що виникають у пристінному шарі суміші, які спрямовані по дотичній щодо поверхні форми.

При дії таких сил компонента тензора напруги, що має місце на 1м довжини форми при набриску суміші в процесі формування стійки, може бути представлена як:

$$\sigma_{r\varphi} = \mu_{каж}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r}\right) \quad , \qquad (2.4)$$

де $\mu_{каж}$ – гадана динамічна в'язкість бетонної суміші.

Представлена залежність для визначення компонента тензора напруг дозволяє перейти до визначення крутного моменту форми при центрифугуванні, у якій формується виріб.

При цьому, у розрахунках присутня гадана динамічна в'язкість суміші, тому що бетонна суміш розглядається як неньютонівська рідина.

Крутний момент форми, виходячи з розв'язку рівняння (2.4), за умови що $\delta = R1 - R2 << R1$ може бути визначений по формулі:

$$T\left(\frac{\mu_{каж}\cdot R_1\cdot S\cdot \vartheta_1}{\delta}\right)\cdot 1\cdot L, \qquad (2.5)$$

де $S = 2\pi R_1 \cdot 1$ м – площа внутрішньої поверхні форми на 1 метрі її довжини;

ϑ_1- окружна швидкість обертання форми з врахуванням її внутрішнього радіуса;

L – загальна довжина форми (опалубки);

Залежність (2.5) дозволяє визначити крутний момент форми з урахуванням властивостей бетонної суміші, відповідної до окружної швидкості й товщині відформованого виробу, тобто $T = f\mu_{каж}, \vartheta_1, \delta)$ може бути запропонована для визначення витрат потужності на процес формування стійок.

2.1.2. Визначення величини середнього тиску, що виникає в шарі бетонної суміші, що ущільнюється, при формуванні.

Для визначення тиску, який виникає в шарі бетонної суміші, що ущільнюється, у формі, слід прийняти за увагу умова $\omega_1 = \omega_1^* = \omega$ де ω_1 - кутова швидкість обертання форми, ω_1^* - кутова швидкість обертання формованого виробу, $\alpha\frac{R_1}{R_2}, v_\varphi(r) = \omega r$ де r – поточне значення радіуса поперечного переріза формованого виробу [28].

У такому випадку, перше рівняння системи (2.1) може бути розкрите в такий спосіб:

$$p_{(r)} = p_{(R_2)} + \rho_0 \cdot R_2^2 \cdot \frac{\omega^2}{2}\left(\frac{r^2}{R_2^2} - 1\right) = p_{(R_2)} + \frac{\rho_0\omega^2}{2}(r^2 - R_2^2) \qquad (2.6)$$

Максимальний тиск буде спостерігатися при r = R1, тоді:

$$p_{(R_1)} = p_{(R_2)} + \frac{\rho_0\omega^2}{2}(R_1^2 - R_2^2). \qquad (2.7)$$

За умови, що δ = R1 – R2,

$$p_{(r=R_1)} = p_{(R_2)} + \frac{\rho_0\omega^2}{2} \cdot \delta \cdot (2R_2 + \delta) = p_{(R_2)} + \frac{\rho_0\omega^2}{2}(2R_2 \cdot \delta + \delta^2) \qquad (2.8)$$

де ρ_0 – середня щільність бетонної суміші, що використовується для виготовлення стійок.

У такому випадку, сила, що забезпечує ущільнення покладеного шару бетонної суміші на 1 м внутрішній поверхні обертової форми при формуванні виробу, визначається як:

$$FP_{(r=R_1)} \cdot S = P_{(r=R_1)} 2\pi R_1 \cdot 1 =$$

$$= \left[P_{(r=R_1)} + \frac{\rho_0\omega^2}{2}(2R_2 \cdot \delta + \delta^2)\right] 2\pi \cdot 1м(R_2 + \delta)^2. \qquad (2.9)$$

Якщо вважати, що процес ущільнення бетонної суміші на внутрішній поверхні форми визначається дією відцентрової сили, залежність для визначення сили F прийме вигляд:

$$F\frac{\rho_0\omega^2}{2}(2R_2\cdot\delta+\delta^2)(R_2+\delta)2\pi\cdot 1м=$$

$$=\rho_0\omega^2 2\pi\cdot 1м(2R_2\cdot\delta++\delta^2)(R_2+\delta)^2. \quad (2.10)$$

Середній тиск, що має місце в покладеному шарі бетонної суміші на внутрішній поверхні обертової форми можна визначити згідно з наступною залежністю:

$$\overrightarrow{p_{(r)}}=\frac{1}{\delta}\frac{\rho_0\omega^2}{2}\int_{R_2}^{R_1}(r^2-R_2^2)dr=\frac{\rho_0\omega^2}{2\delta}\left[\frac{r^3}{3}-R_2^2r\right]\Big|_{R_2}^{R_1}=\frac{\rho_0\omega^2}{2\delta}\left[\frac{R_1^3-R_2^3}{3}-R_2^2(R_1-R_2)\right]==$$

$$\frac{\rho_0\omega^2}{2\delta}\left[\frac{(R_1-R_2)(R_1^2+R_2^2+R_1R_2)}{3}-R_2^2\delta\right]=\frac{\rho_0\omega^2}{6}(3R_2\delta+\delta^2). \quad (2.11)$$

Таким чином, в остаточному підсумку маємо $\overrightarrow{p_{(r)}}=\frac{\rho_0\omega^2}{6}(3R_2\delta+\delta^2)$.

При виконанні умови $t_{центр}=t\rho^*-\rho_0)$, де $t_{центр}$ - витрати часу на процес центрифугування, кінцеву щільність відформованого виробу можна розглядати як функцію часу t, тобто $\rho^*_{\square}=\rho t_{центр})$. При цьому, збільшення кутової швидкості обертання форми дозволяє скоротити час на процес центрифугування (ущільнення бетонної суміші у формі), а, отже, зменшити загальні витрати часу на весь процес виготовлення виробу.

2.1.3 Обґрунтування можливості зменшення товщини стінки виробу, що формується за рахунок збільшення кутової швидкості обертання форми.

Відформований виріб з певною товщиною стінки залежить від ω, R_1 і може розглядатися з урахуванням заданого нормативу $\delta 1=\alpha_1\cdot R_1$, який показує, як формується внутрішній радіус виробу R_2, відформованого при кутовій швидкості обертання форми ω_1 з урахуванням товщини покладеного шару бетонної суміші. При цьому $\alpha_1=(1-\frac{R_{21}}{R_1})$. Якщо збільшити величину кутової швидкості обертання форми ω_1 до величини ω_2, тобто $\omega_2>\omega_1$, то $\alpha_2=(1-\frac{R_{22}}{R_1})$. Тоді товщина стінки відформованої стійки $\delta_2=\alpha_2\cdot R_1$.

Для того, щоб одержати необхідну щільність відформованої стійки з меншою товщиною її стінки при кутовій швидкості $\omega_2 > \omega_1$, слід розглянути рівність:

$$\frac{\rho^* \cdot \omega_1^2}{6}(3R_2 \cdot \delta_1 + \delta_1^2) = \frac{\rho^* \cdot \omega_2^2}{6}(3R_2 \cdot \delta_2 + \delta_2^2) \qquad (2.12)$$

При умовах, що $\delta_1 = \alpha_1 \cdot R_1$ і $\delta_2 = \alpha_2 \cdot R_1$, рівність (2.12) можна представити як:

$$\omega_1^2(3R_2 \cdot \alpha_1 \cdot R_1 + \alpha_1^2 R_1^2) = \omega_2^2(3R_2 \cdot \alpha_2 \cdot R_1 + \alpha_2^2 R_1^2). \qquad (2.13)$$

$$\text{Тоді } \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{3\alpha_1 + \alpha_1^2}{3\alpha_2 + \alpha_2^2}. \qquad (2.14)$$

У таблиці 2.1 наведені чисельні значення відносин $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ для різних значень α_1, α_2/α_1.

Таблиця 2.1. – Чисельні значення відносин $\frac{\omega 2}{\omega 1}$ при різних α_1, α_2/α_1.

α	α_2/α_1			
	0,5	0,3	0,2	0,1
0,1	1,426	1,847	2,265	3,209
0,2	1,437	1,867	2,294	3,255
0,3	1,447	1,887	2,322	3,3
0,4	1,458	1,906	2,349	3,344
0,5	1,463	1,925	2,376	3,388
0,6	1,477	1,943	2,402	3,43
0,7	1,486	1,96	2,427	3,472
0,8	1,495	1,977	2,452	3,513

Таким чином, аналіз розрахункових даних таблиці 2.1 дозволяє зробити наступний висновок: зменшення товщини стінки виробу в 1,2 рази, при дотриманні вищевказаних умов, для сприйняття відповідного тиску внутрішньою стінкою форми, вимагає кутову швидкість форми ω2, у порівнянні з кутовий швидкість ω1, збільшити, приблизно, в 1,45 рази.

2.2 Вплив кутової швидкості обертання форми на пружні властивості бетонної суміші, що ущільнюється.

Раніше опубліковані результати теоретичних досліджень процесу виготовлення залізобетонних стійок [9, 23, 35] дозволяють зупинитися на окремих аспектах процесу виготовлення таких виробів.

Результати проведених досліджень дозволили проаналізувати умови формування товщини виробу в процесі реалізації режимів обертання форми (опалубки).

При цьому, відзначено, що, в остаточному підсумку формований виріб обертається з тією же окружною швидкістю, що й форма.

Модуль окружної швидкості як вектор рівний

$$\left|\overline{v_\varphi}\right| = vR_1, \tag{2.15}$$

де ω і R_1 відповідно кутова швидкість і внутрішній радіус форми. При розгляді процесу формування виробу може бути розглянуте поточне значення його радіуса.

У такому випадку, $\vec{v} = (v_r, v_\varphi, v_z)$, де v_r – радіальна складова швидкості, перпендикулярна до осі обертання виробу, v_φ - окружна швидкість, v_z - компонента швидкості уздовж осі Oz (рис. 2.1).

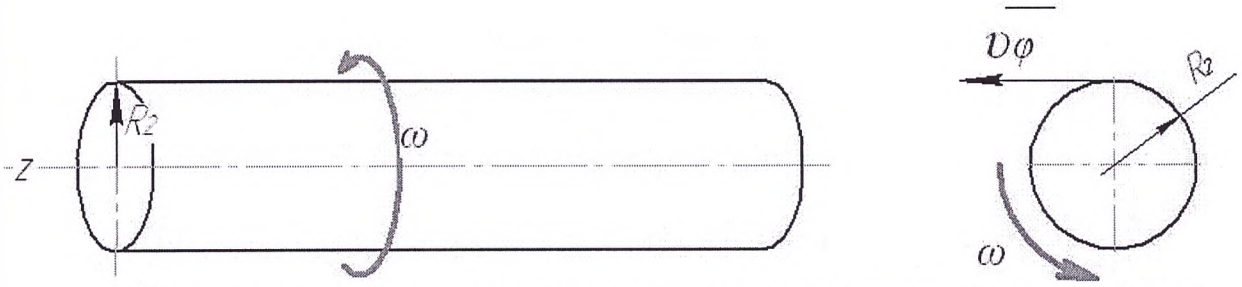


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для виробу при обертанні форми уздовж осі Oz

Уздовж осей Oz, Oφ, Or уведені орти i_Z, i_φ, i_r. У такому випадку, розрахункова схема для виробу має вигляд (рис. 2.2):

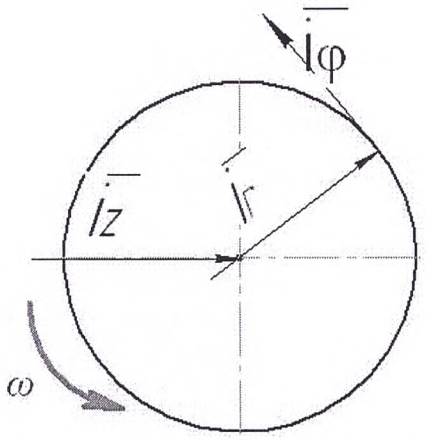


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема виробу при введенні величин i_Z, i_φ, i_r.

При обертанні форми уздовж осі Oz вектор кутової швидкості її обертання спрямований уздовж осі Oz значення, що тече, вектора $\vec{\omega}$ радіуса $\vec{r}$- по орту $\overrightarrow{i_\varphi}$ – окружна швидкість $\overrightarrow{v_\varphi}$.

Швидкість при обертанні форми, з якою одночасно обертається виріб, визначається як векторний добуток:

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \times \overrightarrow{R_2}] \text{ або } \vec{v} = [\vec{\omega} \times \vec{r}]. \quad (2.16)$$

Тоді $\vec{v} = (v_r, v_\varphi, v_z)$ можна представити як:

$$\vec{v} = [\vec{\omega} \times \vec{r}] = \begin{vmatrix} \overrightarrow{i_r} & \overrightarrow{i_\varphi} & \overrightarrow{i_z} \\ 0 & 0 & \omega \\ r & 0 & 0 \end{vmatrix} = \overrightarrow{i_z} \cdot 0 + \overrightarrow{i_\varphi}(-1)(-v) + \overrightarrow{i_z} = i. \quad (2.17)$$

Таким чином, при обертанні форми з виробом розглядається тільки окружний компонент швидкості:

$$\overrightarrow{v_\varphi} = \overrightarrow{i_\varphi} \cdot vr \text{ при } v_z = 0, v_r = 0. \quad (2.18)$$

Прі цьому, відцентрова сила, яка визначає процес ущільнення бетонної суміші у формі, може бути розглянута як результат векторного добутку:

$$\overrightarrow{p_{цб}} = m[\vec{\omega} \times \vec{v}] = m \begin{vmatrix} \overrightarrow{i_r} & \overrightarrow{i_\varphi} & \overrightarrow{i_z} \\ 0 & v_\varphi & 0 \\ r & 0 & \omega \end{vmatrix} = m\{\overrightarrow{i_r}(v_\varphi \cdot \omega) + \overrightarrow{i_\varphi} \cdot 0 + \overrightarrow{i_z} \cdot 0\} =$$

$$= m\vec{i_r} \cdot v_\varphi \cdot im\vec{i_r} \cdot iR_1 \cdot R\vec{i_r} \cdot i\omega^2 \cdot R_1 \text{ або } \vec{i_r} \cdot i\omega^2 \cdot \omega \quad (2.19)$$

Залежність (2.19) підтверджує той факт, що при обертанні форми (опалубки) виникає відцентрова сила $p_{цб}$, під дією якої перебуває виріб, у якого поточний радіус r також прагне до R_1, $r \to R_1$

Проведенні дослідження процесу формування стійок способом центрифугування [18] дозволили одержати залежність для визначення величини тиску P(r), яке сприймає покладена бетонна суміш у результаті дії відцентрової сили $p_{цб}$, виникаючої при обертанні форми з кутовою швидкістю ω:

$$p_{(r)} = \rho_0 R_1 \left[2\Omega_0 \cdot \Omega_p \ln\left(\frac{r}{R_1}\right) + \frac{{\Omega_0}^2}{2} \cdot \left(\frac{r^2}{R_1^2} - 1\right) + \frac{{\Omega_p}^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{R_1^2}{r^2}\right)\right], \quad (2.20)$$

де $\Omega_0 = \frac{\alpha^2\omega}{\alpha^2-1}$; $\Omega_p = -\left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2-1}\right)\omega$; $\alpha = \frac{R_1}{R_2}$.

Після диференціювання вираження $\frac{dp_{(r)}}{d\rho_0}$ має вигляд:

$$\frac{dp_{(r)}}{d\rho_0} = c^2 = R_1^2\left[-2{\Omega_0}^2 \ln\left(\frac{r}{R_2}\right) + \frac{{\Omega_0}^2}{2} \cdot \left(\frac{r^2}{R_2^2} - \frac{R_2^2}{r^2}\right)\right]. \quad (2.21)$$

Величина $\frac{dp_{(r)}}{d\rho_0} = c^2$ є швидкістю розподілу пружних хвиль у бетонній суміші.

Середня швидкість розподілу пружних хвиль у бетонній суміші може бути визначена як:

$$\overline{c^2} = \frac{1}{2}\left[c^2|_{r=R_2} + c^2|_{r=R_1}\right] = \frac{1}{2}R_2^2\left[\frac{R_1^2 \cdot \omega}{R_1^2 - R_2^2}\right] x \left[-2\ln\left(\frac{r}{R_2}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{R_1^2}{R_2^2} - \frac{R_2^2}{R_1^2}\right)\right]. \quad (2.22)$$

Після всіх перетворень рівняння (2.22) має вигляд:

$$\overline{c^2} = \frac{R_1^2 \cdot \omega}{4}\left[\frac{\alpha^4 - 4\alpha^2 \ln\alpha - 1}{(\alpha^2-1)^2}\right]. \quad (2.23)$$

Отже, з ростом кутової швидкості обертання форми зростають пружні властивості бетонної суміші, що ущільнюється. Це явище слід ураховувати при призначенні робочих режимів процесу центрифугування.

Такий висновок можна зробити, розглянувши приклад у якому за основу взяте раніше зазначене співвідношення $\alpha\frac{R_1}{R_2}$і залежність для визначення товщини стінки формованго виробу.

В випадку, якщо первісне співвідношення $\frac{R_1}{R_2} = 1.5$, і при збільшенні кутової швидкості обертання форми зроблене з ω1 до ω2, а скінченна величина $\frac{R_1'}{R_2'} = 1{,}3$, тоді:

$$\delta_1 = R_1 - R_2 = R_1 - \frac{R_1}{1{,}5} = \left(1 - \frac{1}{1{,}5}\right) R_1 = 0{,}333R_1;$$

$$\delta = -R_2' = R_1' - \frac{R_1'}{1{,}3} = \left(1 - \frac{1}{1{,}3}\right) R_1' = 0{,}230R_1';$$

$\frac{R}{\delta_2} = \frac{0{,}333R_1}{0{,}230R_1'} = 1{,}444\text{x}100\% \approx 30.75\%$, тобто при зменшенні товщини формованої стійки в 1,444, коли середня швидкість поширення пружних хвиль при граничному стані ущільненої бетонної суміші незначна, тобто $c^2 \to 0$, кутова частота обертання форми повинна зрости в 1, 235 рази:

$$\frac{\omega_{1,3} - \omega_{1,5}}{\omega_{1,5}} = \frac{1{,}2335 - 1}{1} \cdot 100\% = 23{,}54\%.$$

2.3 Визначення кутової швидкості обертання форми залежно від фізико-механічних властивостей бетону.

При формованні довгомірних трубчастих виробів способом центрифугування, як уже було відзначено раніше, важливу роль відіграє кутова швидкість обертання форми (опалубки) ω [28, 29]. Становить інтерес вивчення процесу центрифугування з позицій впливу на цей робочий параметр фізико-механічних властивостей відформованих виробів. Таким показником може служити величина граничної напруги на стиск бетону в готовому виробі.

За умови, що радіус R_1 є внутрішнім радіусом форми, а R_2 – внутрішній радіус виготовленого виробу, і виріб має ту ж кутову швидкість, що й обертова форма, максимальна кутова швидкість обертання форми, у такому випадку,

визначається виходячи з розв'язку рівнянь Навье – Стокса за умови, що бетонна суміш є в'язкопластичним середовищем.

$$\frac{1}{\rho_0}\cdot\frac{dP}{dr}=\frac{\upsilon^2}{r};\qquad \frac{1}{r}\cdot\frac{d}{dr}\left(\mathrm{r}\cdot\frac{d\upsilon}{dr}\right)-\frac{\upsilon}{r^2}=0, \tag{2.24}$$

де υ - окружна швидкість обертання форми.

Система рівнянь Навье – Стокса розглядається в циліндричній системі координат (r, φ), причому залежність υ і P від φ відсутня у зв'язку із симетричним розташуванням форми щодо осі її обертання Oz. При цьому, уводяться наступні граничні умови:

$$\upsilon(r)\big|_{r=R_2}=0;\ \upsilon(r)\big|_{r=R1}=\omega \mathrm{R}_1;\qquad \mathrm{R1}\ >\mathrm{R2}, \tag{2.25}$$

і раніше прийняті позначення:

$$\Omega_0=\frac{\alpha^2\omega}{\left(\alpha^2-1\right)};\qquad \Omega_p=-\Omega_0;\alpha=\frac{\mathrm{R}_1}{\mathrm{R}_2}\succ 1. \tag{2.26}$$

При прийнятих умовах (2.25) і позначеннях (2.26) розв'язок системи має вигляд:

$$\upsilon_{(r)}=\Omega_0\cdot\mathrm{r}+\frac{\Omega_p\mathrm{R}_1{}^2}{\mathrm{r}};\omega_{(r)}=\Omega_0+\Omega_p\cdot\frac{\mathrm{R}_1{}^2}{\mathrm{r}^2};\omega_{(r)}=\Omega_0+\Omega_p\cdot\frac{\mathrm{R}_1{}^2}{\mathrm{r}^2};\ \mathrm{R}_2\prec\mathrm{r}\prec\mathrm{R}_1;$$
$$p_{(r)}=p_{(R_2)}+\rho_0\cdot\int_{R_2}^{r}\frac{\upsilon^2(r)}{r}dr=P_{(R_2)}+\rho_0\cdot\mathrm{R}_2{}^2\left[2\Omega_0\cdot\Omega_p\ln\left(\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{R}_2}\right)+\frac{\Omega_0{}^2}{2}\left(\frac{r^2}{\mathrm{R}_2{}^2}-1\right)+\frac{\Omega_p{}^2}{2}\left(1-\frac{R_2{}^2}{\mathrm{r}^2}\right)\right] \tag{2.27}$$

У тому випадку, якщо $p_{(R_2)}$ значно менше другого члена в другім рівнянні розглянутої системи й беручи до уваги позначення (2.26), рівняння системи (2.27) можна записати як:

$$p_{(R_2)}=\rho_0\cdot\mathrm{R}_2{}^2\Omega_0{}^2\left[-2\ln\left(\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{R}_2}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{\mathrm{r}^2}{\mathrm{R}^2{}_2}-\frac{\mathrm{R}^2{}_2}{\mathrm{r}^2}\right)\right]. \tag{2.28}$$

Тиск, який сприймають шари бетонної суміші при ущільненні способом центрифугування, в остаточному підсумку, повинне забезпечити необхідну міцність бетону на стиск, межа якої не повиненна перевищувати величини, що допускається, тобто $p_{(r)}\prec[f_{сж}]$, де $[f_{сж}]$ - межа міцності бетону на стиск, МПа

За умови, що $r \longrightarrow R_1$

$$\Omega_0^{\,2} \prec \frac{[f_{сж}] - \rho_{(R_2)}}{\rho_0 \cdot R_2^{\,2}\left[-2\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^{\,2}}{R_2^{\,2}}-\frac{R_2^{\,2}}{R_1^{\,2}}\right)\right]}. \tag{2.29}$$

З урахуванням раніше прийнятого позначення:

$$\Omega_0^2 = \frac{\omega^2\alpha^4}{\left(\alpha^2-1\right)^2} = \frac{\omega^2\frac{R_1^{\,4}}{R_2^{\,4}}}{\left(\frac{R_1^{\,2}}{R_2^{\,2}}-1\right)^2} = \frac{\omega^2 R_1^{\,4}}{\left(R_2^{\,2}-R_1^{\,2}\right)^2}. \tag{2.30}$$

Отже,

$$\frac{\omega^2 R_1^{\,4}}{\left(R_1^{\,2}-R_2^{\,2}\right)^2} \le \frac{[f_{сж}] - p(R_2)}{\rho_0 \cdot R_2^{\,2}\left[-2\ln\frac{R_1}{R_2}+\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^{\,2}}{R_2^{\,2}}-\frac{R_2^{\,2}}{R_1^{\,2}}\right)\right]}, \tag{2.31}$$

звідки

$$\omega \le \frac{\left(R_1^{\,2}-R_2^{\,2}\right)^2}{R_1^{\,4}}\left(\frac{[f_{сж}] - p(R_2)}{\rho_0 \cdot R_2^{\,2}\left[-2\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^{\,2}}{R_2^{\,2}}-\frac{R_2^{\,2}}{R_1^{\,2}}\right)\right]}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{2.32}$$

Таким чином, уперше доведене, що кутова швидкість обертання форми згідно із залежністю (2.32) при виготовленні стійок залізобетонних опор ЛЕП способом центрифугування прямо пропорційна величині $[f_{сж}]$ й залежить від вихідної середньої щільності використовуваної бетонної суміші, а також від конструктивних розмірів формованого виробу.

2.4 Визначення припустимої кутової швидкості обертання форми, що забезпечує необхідну міцність формованих виробів.

При розгляді завершального етапу формування стійок залізобетонних опор пропонується ввести наступне позначення для визначення максимально припустимої кутової швидкості обертання форми:

$$\left[\frac{[f_{cm}]}{\rho^* R^2_2}\right]^{\frac{1}{2}} = \omega^*,$$

де ρ* - кінцева щільність відформованого виробу, що дозволяє визначити граничні умови для кутової швидкості обертання форми ω, ω ≤ ω*max,

$$\omega^*_{max} = \frac{\left(R_1^2 - R_2^2\right)}{R_2^2} \cdot \frac{\omega^*}{\left[-2\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{R_1^2}{R_2^2} - \frac{R_2^2}{R_1^2}\right)\right]}. \quad (2.33)$$

Тоді безрозмірна кутова швидкість форми при певних конструктивних розмірах відформованої стійки може бути представлена виразом:

$$\overline{\omega} = \frac{\omega}{\omega^*_{max}} = \frac{\left(R_1^2 - R_2^2\right)}{R_2^2} \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^2}{R_2^2} - \frac{R_2^2}{R_1^2}\right) - 2\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (2.34)$$

З виразу (2.35) видно, що безрозмірна кутова швидкість $\overline{\omega}$ є функцією співвідношення $\frac{R_1}{R_2} = \alpha.$

У такому випадку, залежність (2.37) можна представити як:

$$\overline{\omega} = \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \cdot \frac{1}{\left[\frac{1}{2}\left(\alpha^2 - \frac{1}{\alpha}\right) - 2\ln\alpha\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.35)$$

або

$$\overline{\omega} = \frac{(\alpha - 1)}{\left[-2\alpha^2\ln\alpha + \frac{1}{2}\left(\alpha^2 - 1\right)\right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (2.36)$$

Отже, співвідношення $\frac{\omega}{\omega^*_{max}} \prec \overline{\omega}$, дозволяє стежити за тим, щоб робоча кутова швидкість перебувала в допустимих межах [8].

У таблиці 2.2 наведені значення $\overline{\omega}$ для різних співвідношень радіусів $\frac{R_1}{R_2}$ за умови, що $\alpha > 1$.

Таблиця 2.2 – Таблиця співвідношень радіусів при різних значеннях безрозмірних кутових швидкостей.

$\alpha = \frac{R_1}{R_2}$	$\overline{\omega}$
1.1	0,374
1.2	0,562
1.3	0,687
1.4	0,805
1.45	0,861

На рисунку 2.3 представлена залежність безрозмірної кутової швидкості обертання форми (опалубки) з формованим виробом від співвідношення радіусів R_1/ R_2.

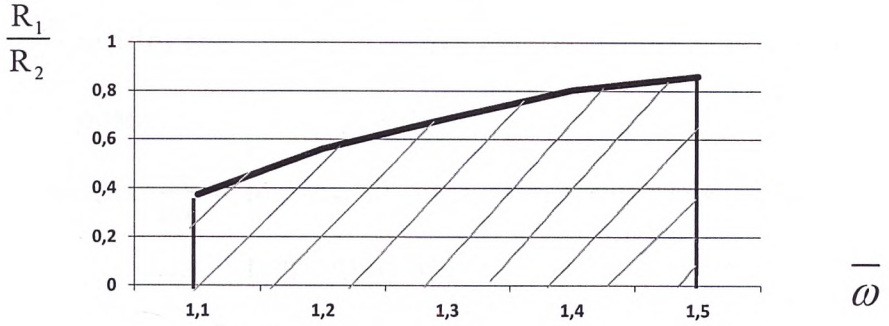


Рисунок 2.3 – Залежність безрозмірної кутової швидкості обертання форми (опалубки) з формованим виробом від співвідношення радіусів $\frac{R_1}{R_2}$.

Таким чином, результати проведених теоретичних досліджень дозволяють визначити величину припустимої кутової швидкості обертання форми, при якій буде досягнута необхідна міцність формованого виробу, що дозволить

обґрунтовано підходити уводити, увести до ладу призначенню робочих режимів процесу центрифугування з погляду витрат потужності й ощадливої витрати електроенергії.

2.5. Використання маштабного фактора при переході від дослідного зразка устаткування до промислового.

При переході від дослідного зразка машини до промислового використовується теорія подоби: проводиться пропорційне збільшення основних розмірів дослідного зразка машини при збереженні физико – механічних властивостей бетонної суміші, що ущільнюється: установлюється масштабний перехід.

Теоретична подоба між промисловим і дослідним зразками машини може бути презентовано в такий спосіб:

$\frac{L_м}{D_м} = \frac{L_н}{D_н} =$ idemде Lм,Dм і Lн,Dн - відповідно геометричні розміри досвідченої й промислової установок.

Відношення $\frac{L_м}{D_м} = m$, (це відношення задається проектувальником). При цьому, ураховується гідродинамічна подоба бетонних сумішей, що ущільнюються $Re_м = Re_н = Re$

$$Re_м = \frac{\omega_м \cdot D^2{}_м}{\nu_м} = \frac{\omega_н \cdot D^2{}_н}{\nu_н} \quad (2.37)$$

$$\text{При } \nu M = \nu H : \frac{\omega_м}{\omega_н} = \frac{D^2{}_м}{D^2{}_н} \text{ або } \frac{\omega_н}{\omega_м} = \frac{D^2{}_н}{D^2{}_м} \quad (2.38)$$

Для промислового зразка машини, виходячи з вищенаведеного співвідношення, випливає $D_н = \frac{L_н}{m}$.Отже, кутова швидкість обертання форми (опалубки) промислового зразка машини може бути знайдена із залежності:

$$\omega_н = \omega_м \frac{D^2{}_м}{D^2{}_н} = \omega_м \frac{D^2{}_м \cdot m^2}{L^2} \quad (2.39)$$

при $Re_м = Re_н$.

Таким чином, кутова частота обертання промислового зразка центрифуги визначається згідно із залежністю (2.39).

Аналогічно визначається продуктивність промислової центрифуги при переході від дослідного зразка машини до промислового.

$$П_н = V_{бс} \cdot \omega_н;\ П_м = V_{мбс} \cdot \omega_м \qquad (2.40)$$

де $V_{бс}$, $V_{мбс}$ – обсяги бетонної суміші, які підлягають ущільненню в центрифугах промислового й дослідного зразках машин.

$$\frac{П_н}{П_м} = \frac{V_{бс} \cdot \omega_н}{V_{мбс} \cdot \omega_м} = \frac{\pi D^2{}_н \cdot L_н}{\pi D^2{}_м \cdot L_м} \cdot \frac{D^2{}_м}{D^2{}_н} = \frac{L_н}{L_м} \qquad (2.41)$$

де $П_н$ – продуктивність промислової центрифуги, м^3/год;

$П_м$ – продуктивність дослідного зразка центрифуги, м^3/год;

Таким чином, співвідношення $\frac{П_н}{П_м} = \frac{L_н}{L_м}$ свідчить про те, що продуктивність промислового зразка машини зростає в стільки раз, у скільки раз довжина натурного зразка центрифуги більше довжини дослідного зразка.

3 Експериментальні дослідження

3.1 Програма досліджень

Експериментальні дослідження спрямовані на визначення областей раціональних параметрів процесу формування стійок залізобетонних опор для ЛЕП способом центрифугування в умовах удосконаленої технологічної лінії.

При цьому, випливає:

- вивчити вплив на процес центрифугування підвищених швидкостей обертання форми;

- визначити раціональні режими формування залізобетонних стійок в умовах удосконаленої технологічної лінії при використанні роторного бетоноукладача.

3.2 Характеристика устаткування й матеріалів для проведення досліджень.

3.2.1 Експериментальне устаткування

Для проведення досліджень по виявленню можливостей експлуатації існуючої центрифуги на заводі при підвищених частотах її обертання з метою інтенсифікації робочого процесу, виготовлений дослідно-промисловий зразок центрифуги.

У заводських умовах формування контрольних зразків бетону з метою перевірки їх міцності на стиск здійснювалося у зв'язку з вимогами, пред'явленими до стійок, що виготовляються, залізобетонних опор способом центрифугування. Нормативна міцність захисного шару бетону у виготовленому виробі становить не менш $f_{сж} = 52$ МПа.

Завантаження бетонної суміші в корпус дослідно-промислового зразка центрифуги здійснювалася за допомогою роторного бетоноукладача.

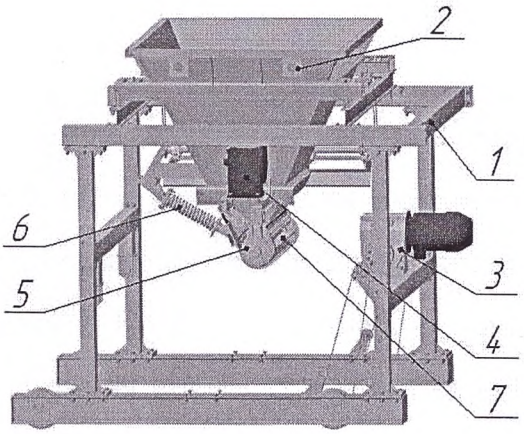
Бетоноукладач (рис. 3.1) призначений для заповнення полуопалубок бетонною сумішшю при виготовленні стійок залізобетонних опор СК способом центрифугування. Бетонна суміш подається в нижню напівопалубку роторним метальником 5. Бетоноукладач переміщається по рейковому шляхові зі змінною швидкістю, що залежить від щабля включення чотиришвидкісного приводного електродвигуна.

Таблиця 3.1. – Технічна характеристика дослідно-промислової центрифуги

Потужність привода, кВт	5.5
Габаритні розміри: - висота, мм -довжина, мм - ширина, мм - маса, кг	 1320 1980 720 746
Кількість зразків, шт	6

Таблиця 3.2. – Технічна характеристика бетоноукладача з роторним метальником.

Місткість бункера, м3	Колія по осях рейка, мм	Швидкість переміщення, м/хв		Установлена потужність, кВт	Габарити, м			Маса, т
		Робочого ходу	Холостого ходу		Висота	Ширина	Довжина	
2	2400	4.5	13.5	3.6	2.83	3.8	3.18	3.82



1 – рама (портал); 2 – прийомний бункер; 3 – привод пересування бетоноукладача; 4 – колеса; 5 – роторний живильник; 6 – запобіжний вузол живильника; 7 – вібраційний пристрій.

Рисунок 3.1 – Бетоноукладач із роторним живильником.

Живильник і ходові колеса оснащені індивідуальними приводами. Металоконструкція бетоноукладача складається із двох бічних порталів, верхньої рами П-образної форми й поперечної балки. На спеціальних майданчиках верхньої частини рами встановлений бункер бетоноукладача 2. До нижньої частини рами прикріплений роторний живильник 5. У нижніх кутах бічних порталів є спеціальні майданчики для кріплення підшипників ходових коліс 4. Усі частини рами – пустотілі, зварені з аркушів стали товщиною 4-10мм, твердість конструкції забезпечена внутрішніми діафрагмами.

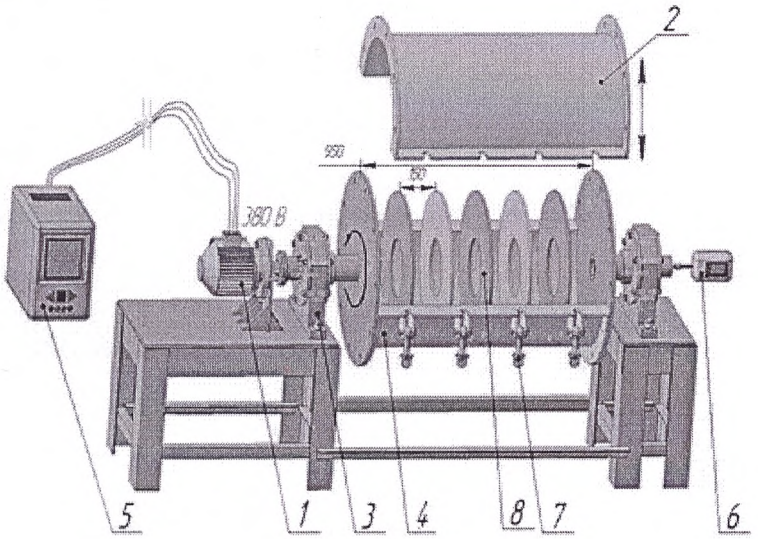
Привод переміщення бетоноукладача 3 складається із чотиришвидкісного електродвигуна, який пружною гальмовою муфтою з'єднується із циліндричним редуктором, що мають два вихідні вали, кожний з яких через ущільнювальну муфту й проміжний вал з'єднані із зірочками ланцюгових передач, які передають крутний момент на ходові колеса. Із чотирьох ходових коліс бетоноукладача два приводні.

Для інтенсифікації звільнення бункера 2 від бетонної суміші на його корпусі встановлений вібраційний побудник 7, який складається з вібратора

типу З-357, установленого на спеціальній плиті рамки й прикріпленого до верхньої рами бетоноукладача.

Дослідно – промисловий зразок центрифуги (рис. 3.2) виконаний по типу шпіндельної центрифуги і являє собою раму, на якій установлений корпус. У корпусі встановлено барабан 4 з верхньою знімною кришкою 2, яка фіксується за допомогою відкидних болтів 7. Корпус установлено в підшипникових опорах 3. Барабан приводиться в обертання від електродвигуна 1. Причому, приводний вал електродвигуна крутний момент передає через фланцеву муфту.

У зв'язку з тим, що барабан центрифуги має секційні перегородки, контрольні зразки формовалися на різних составах бетонної суміші при режимах, що задаються. На корпус одягається верхня кришка 2, задається необхідний режим центрифугування й барабан починає обертатися. Зміна частоти обертання барабана здійснюється за допомогою частотного перетворювача 5. Для контролю частоти обертання використовується механічний тахометр 6.



1 – електродвигун; 2 – верхня кришка; 3 – підшипникові опори; 4 – барабан; 5 – частотний перетворювач; 6 – тахометр; 7 – відкидні болти; 8 – перегородки.

Рисунок 3.2 – Дослідно-промисловий зразок установки для виготовлення способом центрифугування контрольних зразків.

По закінченню формування, для набору міцності, зразки витримувались у центрифузі 28 годин при температурі не менш t = 20°C. При відкритій кришці через спеціальні отвори вибивалися перегородки 8, після чого зразки відправлялися на випробування їх міцності на стиск.

Бетонна суміш із максимальною крупністю заповнювача dmax = 10…20 мм готувалась у бетонозмішувачі примусової дії, технічна характеристика якого наведено в таблиці 3.3, а сам змішувач показано на рисунку 3.3

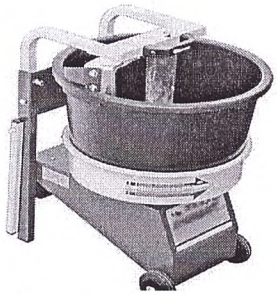


Рисунок 3.3. – Загальний вид лабораторного змішувача

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика лабораторного змішувача

Параметри	Характеристика
Обсяг замісу, м³	0.05
Максимальний розмір заповнювача, мм.	10…20
Потужність двигуна, кВт.	1,2
Габаритні розміри, мм:	
- довжина	800
- ширина	350
- висота	600

3.2.2 Інструменти й пристосування

Для просівання піску й великого заповнювача використовувався набір сит з величиною гнізд 0.14, 0.315, 0.63, 1.25, 5, 7, 10 мм.

Зважування вихідних компонентів бетонної суміші здійснювалося на електронних вагах ТВЕ-50-1- ВР - клас точності по ДСТУ EN 45501 — II.

Регулювання частоти обертання робочого органа здійснювалося за допомогою перетворювача частоти для асинхронних двигунів INVT GD100-004G-4 [75].

Формування контрольних зразків-кубів здійснювалося у формах розміром (100×100×100 мм).

Міцність на стиск зразків визначалася на 50-ти тонному гідравлічному пресі ПСОВІ-50.

Також зразки випробовувалися неруйнуючим методом контролю (Rн) за допомогою приладу ИПС-МГ4.

Для дозування компонентів бетонної суміші застосовувалися мірні ємності обсягом 10 – 20 л.

Конструкція дослідно-промислового зразка центрифуги дозволяє змінювати:

– частоту обертання корпуса в діапазоні 0…530 хв-1 і час центрифугування за допомогою частотного перетворювача;

3.3 Виявлення параметрів визначальних технологічний процес формування стійок залізобетонних типу СК.

Основною науковою передумовою, що обумовлює тривалість процесу формування стійки СК із досягненням остаточного ущільнення бетонної суміші способом центрифугування є повне водовідділення, яке забезпечується дією відцентрових сил [2].

При центрифугуванні в існуючих режимах устаткування (табл. 3.4), має місце часткове розшарування бетонної суміші. При цьому, повного водовідділення не спостерігається. Відділяється шлам, до складу якого, крім води, входять дрібні фракції піску й частки цементу. Підвищення частоти обертання форми (опалубки) і зменшення, за рахунок цього, часу центрифугування, можна припустити, дозволить підвищити ефективність використання робочого устаткування зі збільшенням відсотка водовідділення.

Підвищення частоти обертання форми, при цьому, більш 380 хв-1, повинне сприяти скороченню часу формування.

Таблиця 3.4 – Режими центрифугування при виготовленні стійок СК.

Частота обертання, $хв^{-1}$	Швидкість обертання форми				
	1	2	3	4	5
	90	160	240	320	380
Тривалість центрифугирования,хв.	2	2	2	2	12 - 14

Зразки формовались із зовнішнім діаметр D_1 = 560 мм і внутрішнім D_2 = 460 мм, довжиною L=200 мм. Армування не проводилося.

Для представлених досліджень міцності на стиск контрольних зразків, виготовлених на дослідно-промисловій центрифузі, був використаний планований експеримент [36]. Діапазон варіювання змінними наведено в таблиці 3.5.

У якості функції Y узята міцність бетону на стиск fcж, МПа, у якості аргументів: X_1 – В/Ц, X_2 – частота обертання n, $хв^{-1}$, X_3 – час центрифугування t, с.

Таблиця 3.5 – Діапазони варіювання змінними x_1, x_2, x_3

Характеристика	Кодове значення	В/Ц	Частота обертання	Час центрифугування

	фактора	W	n, об/хв	t, с
Верхній рівень	1	0,42	420	20
Нижній рівень	-1	0,36	340	16

У таблиці 3.6 наведена матриця планування експериментів.

Таблиця 3.6 – Матриця планування експериментів

№ досл.	Код	В/Ц	Код	Частота обертання	Код	Час центр.	Міцність(28 доби), МПа			
	+1	0,42	+1	420	+1	20	$1\sigma_{сж}$			Середнє значення $\sigma_{сж}$
	–1	0,36	–1	340	–1	16				
1	–	0,36	–	340	–	16	33,2	34,9	34,2	34,1
2	+	0,42	–	340	–	16	34,8	33,9	34,7	34,5
3	–	0,36	+	420	–	16	48,7	49,5	50,2	49,5
4	+	0,42	+	420	–	16	42,5	44,0	41,3	42,6
5	–	0,36	–	340	+	20	36,8	35,2,	34,8	35,6
6	+	0,42	–	340	+	20	36,2	32,4	37,9	35,5
7	–	0,36	+	420	+	20	53,5	59,7	56,4	56,5
8	+	0,42	+	420	+	20	50,4	54	52,8	52,4

У кожній серії дослідів експеримент повторювався тричі, і визначалось середнє значення функції відгуку.

У результаті проведення експериментів отримане рівняння регресії в кодованому виді без винятку незначущих по Стьюденту коефіцієнтів:

$$Y = 42,6 - 1,3 \cdot x_1 + 7,6x_2 + 2,4x_3 - 1,414x_1x_2 + 0,3 \cdot x_2x_3 + 1,7x_3x_1 + 0,4x_1x_2x_3 \quad (3.1)$$

Після виконаного аналізу [37] і виключення незначущих членів рівняння регресії (3.1) має вигляд:

$$Y = 42{,}6 + 7{,}6x_2 + 2{,}4x_3 \qquad (3.2)$$

Отримані результати досліджень залежності $f_{сж} = f$ представлено в Таблицях 3.7, 3.8, 3.9.

Дані дають можливість проаналізувати вплив кожного із зазначених факторів на міцність бетонних зразків, відформованих способом центрифугування при запропонованому плавному розгоні центрифуги (рис. 3.5) і зрівняти їх з показниками міцності зразків, відформованих на заводі в східчастому режимі.

Вплив частоти обертання форми на міцність зразків на стиск, виготовлених способом центрифугування $f_{сж} = f$, можна проаналізувати за даними таблиці 3.7

Таблиця 3.7 – Залежність $f_{сж} = f(n)$

	$t_{цент}$	В/Ц	Частота обертання **n**, $хв^{-1}$				
			340	360	380	400	420
Міцність $f_{сж}$, Мпа	16	0,36	37	40,5	44,8	49	52,1
	20	0,42	34	38,1	42,1	46	49,9

З результатів таблиці 3.7 видно, що міцність зразків на стиск зростає зі збільшенням частоти обертання форми (опалубки), однак, при цьому, у виготовлених зразків з підвищеним В/Ц спостерігається незначне зниження міцності. Це свідчить про те, що для формування стійок слід використовувати малорухомі бетонні суміші при мінімальних витратах часу, достатньому для одержання високих показників міцності бетону на стиск.

Залежність міцності зразків бетону на стиск від часу центрифугування прослідковується за даними Таблиці 3.8, з якої видне, що міцність бетону після $t_{цент}$ = 8 мін росте незначно.

Таблиця 3.8 – Залежність $f_{сж} = f(t_{цент})$

Міцність $f_{сж}$, МПа	n	В/Ц	Час центрифугування $t_{цент}$, мін				
			16	17	18	19	20
	340	0,36	37	37,1	38	38,4	38,8
	420	0,42	44	45,8	47,2	48	49,9

Таблиця 3.9 – Залежність $f_{сж} = f(В/Ц)$

Міцність $f_{сж}$, МПа	n	$t_{цент}$	Водоцементне відношення В/Ц				
			0,36	0,38	0,4	0,41	0,42
	340	16	37	36,8	34	33,8	31,9
	420	20	56	54,4	52	49,8	48

Дані таблиці 3.9 показують, що процес центрифугування слід робити при використанні малорухомих сумішей: В/Ц=0,4.

При більш високих значеннях В/Ц спостерігається зниження міцності бетону на стиск.

З аналізу даних таблиць 3.7, 3.8, 3.9 також видне, що плавна зміна параметрів робочого процесу впливає на умови формування: процес відбувається при стабілізації умов з поступовим нарощуванням міцності бетону, що сприяє підвищенню показників міцності бетону на стиск.

Кількість віджатої води при плавному режимі центрифугування було максимальне. Для цього проводився контроль змісту води у формах, що виготовляються контрольних зразків.

За результатами першої серії дослідів з урахуванням досягнення максимальної кількості віджатої води при мінімальних значеннях водоцементного відношення (рис. 3.4 і 3.5), випливає, що запропонований плавний розгін центрифуги впливає на якість ущільнення бетонної суміші при центрифугуванні й свідчить про те, що збільшення часу центрифугування після певного порога (t=18 хв) недоцільно (рис. 3.5).

При такому режимі формування стійок способом центрифугування скорочується час на первісний період ущільнення бетонної суміші.

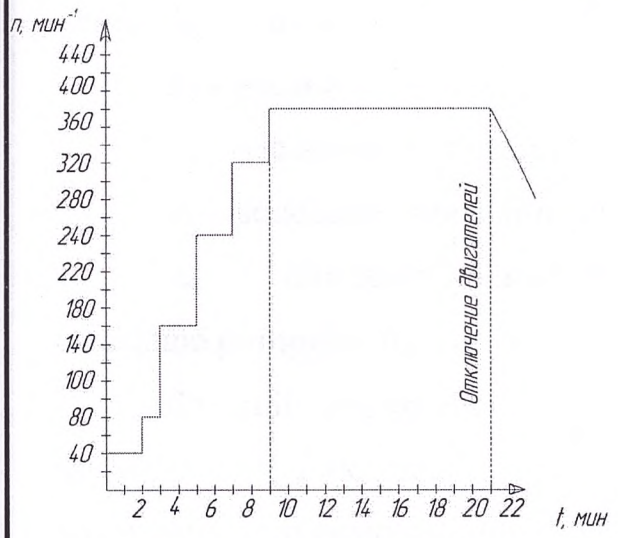


Рисунок 3.4. – Існуючий режим центрифугування

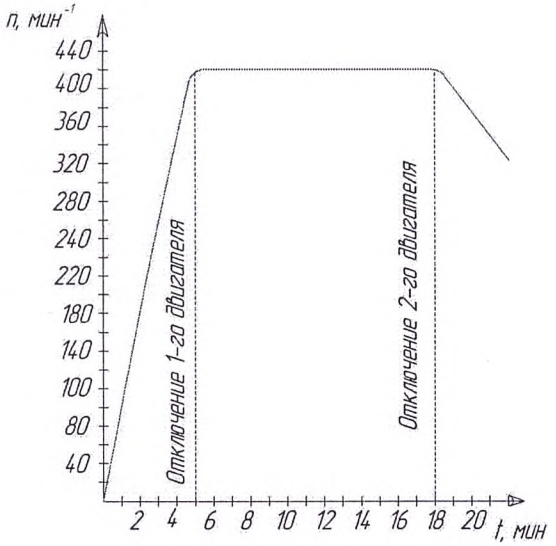


Рисунок 3.5. – Запрпонований плавный режим центрифугування

3.4. Визначення діапазонів раціональних технологічних параметрів процесу формування стійок типу СК в умовах технологічної лінії.

На підставі раніше проведених досліджень [4, 5, 6, 9, 10, 20, 28, 33, 36, 37, 39] прийнято, що оцінка ефективності роботи машин центрифугування при

виробництві стійок залізобетонних опор для ЛЕП проводиться по показникам міцності бетону на стиск.

Для досліджень процесу формування стійок узяті наступні фактори: частота обертання форми (опалубки), час центрифугування, водоцементне відношення, показник рівномірності заповнення напівопалубки бетонною сумішшю за допомогою роторного бетоноукладача.

У такому випадку, у кодованому виразі прийнятий показник оцінки ефективності роботи досліджуваного устаткування й зазначені вище технологічні параметри процесу формування стійок виглядають у такий спосіб:

Y – міцність бетону на стиск, (fсж) МПа;

Фактори, що впливають на міцність відформованих виробів способом центрифугування, представлені в такий спосіб:

x_1 – частота обертання опалубки (n, хв-1);

x_2 – час центрифугування (t, хв);

x_3 – водоцементне відношення (В/Ц);

x_4 – показник рівномірності заповнення напівопалубки бетонною сумішшю роторним бетоноукладачем (h).

Функції показників роботи устаткування від чотирьох незалежних факторів $Y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ досліджувалися з використанням центрального ортогонального композиційного плану 2-го порядку.

Опис поверхні відгуку в локальній області отримане в результаті реалізації репліки повного факторного експерименту типу 24 при генеруючих співвідношеннях:

$$x_6 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5; \qquad x_7 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4.$$

Зоряне плече d = 1,414

$$d = \sqrt{\frac{n\varphi - 2^k}{2}} = \sqrt{\frac{27 \cdot 0{,}718 - 2^4}{2}} = \sqrt{1{,}99} = 1{,}414,$$

де n – число дослідів;

k – число факторів.

$$\varphi = \sqrt{\frac{2^k}{n}} = \sqrt{\frac{2^4}{27}} = \sqrt{\frac{16}{27}} = 0{,}718$$

Діапазони варіювання змінними представлено в таблиці 3.10.

Для виключення систематичних помилок проведена рандомизація досвіду по датчикові випадкових чисел. Однорідність дисперсії перевірялася за критерієм Кохрена, що дозволило зробити вивід про повноту факторного експерименту.

Перевірка адекватності отриманих результатів проводилася в пакеті програми «Scilab».

Варіювання факторами розглядалося на трьох основних рівнях (верхній +1, нижній –1, нульовий 0, і двох додаткові (+*, -*)). Інтервали варіювання змінними наведено в таблиці 3.10, вихідні дані чотирьох факторного експерименту представлено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.10 – Діапазони варіювання змінними

Характеристика	Кодове значення фактора	n	t	В/Ц	h
		$хв^{-1}$	хв		
Основний рівень	x_j^0	395	17,5	0,27	1
Інтервал варіювання	Dx_j	25	3,5	0,02	0,2
Верхній рівень	1	420	21	0,29	1,2
Нижній рівень	-1	370	14	0,25	0,8
Зоряні крапки	1,414	430,35	22,45	0,3	1,28
	-1,414	359,65	12,55	0,24	0,72

Таблиця 3.11 – Матриця планування

№	Фактори							
	x_1	Значення	x_2	Значення	x_3	Значення	x_4	Значення
1	–1	370	–1	14	–1	0,25	–1	0,8
2	+1	420	–1	14	–1	0,25	–1	0,8

3	–1	370	+1	21	–1	0,25	–1	0,8
4	+1	420	+1	21	–1	0,25	–1	0,8
5	–1	370	–1	14	+1	0,29	–1	0,8
6	+1	420	–1	14	+1	0,29	–1	0,8
7	–1	370	+1	21	+1	0,29	–1	0,8
8	+1	420	+1	21	+1	0,29	–1	0,8
9	–1	370	–1	14	–1	0,25	+1	1,2
10	+1	420	–1	14	–1	0,25	+1	1,2
11	–1	370	+1	21	–1	0,25	+1	1,2
12	+1	420	+1	21	–1	0,25	+1	1,2
13	–1	370	–1	14	+1	0,29	+1	1,2
14	+1	420	–1	14	+1	0,29	+1	1,2
15	–1	370	+1	21	+1	0,29	+1	1,2
16	+1	420	+1	21	+1	0,29	+1	1,2
17	–1,41	360	0	17,5	0	0,27	0	1
18	+1,41	430	0	17,5	0	0,27	0	1
19	0	395	–1,41	12,5	0	0,27	0	1
20	0	395	+1,41	22,5	0	0,27	0	1
21	0	395	0	17,5	–1,41	0,24	0	1
22	0	395	0	17,5	+1,41	0,3	0	1
23	0	395	0	17,5	0	0,27	–1,41	0,7
24	0	395	0	17,5	0	0,27	+1,41	1,3
25	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
26	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
27	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
28	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
29	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
30	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1
31	0	395	0	17,5	0	0,27	0	1

Визначення рівнянь регресії і їх перевірка на адекватність проводилися на ПЕВМ.

Після проведення досліджень і обробки експериментальних даних отримані адекватні рівняння регресії, що характеризують зміну міцності бетону на стиск (Y) у віці семи діб (Y_1) і двадцяти восьми діб (Y_2) від перерахованих вище факторів :

Для проведення експериментів використовувався наступний склад бетонної суміші на 1 м^3 бетону: цемент М500– 475…500 кг (при частоті

обертання n_1=380 хв$^{-1}$ маса цементу становила – 500 кг, а при n2=420 хв$^{-1}$ – 475 кг), пісок річковий – 497 кг, щебені фракції 5…20 мм – 1330 кг, вода – 160-174 л (кількість води залежала від необхідного В/Ц). Вага замісу для одного зразка (однієї секції центрифуги) становить 20 кг.

Рівняння регресії показників міцності на стиск залежно від чотирьохфакторного експерименту (7 діб) має вигляд:

$$Y_1 = 36{,}5 + 3{,}9n - 1{,}1B/Ц + 2{,}2n^2 + 2{,}3n \cdot B/Ц - 0{,}5B/Ц^2 - 0{,}5t \cdot h \quad (3.3)$$

Рівняння регресії показників міцності на стиск залежно від чотирьохфакторного експерименту у віці 28 діб представлене нижче:

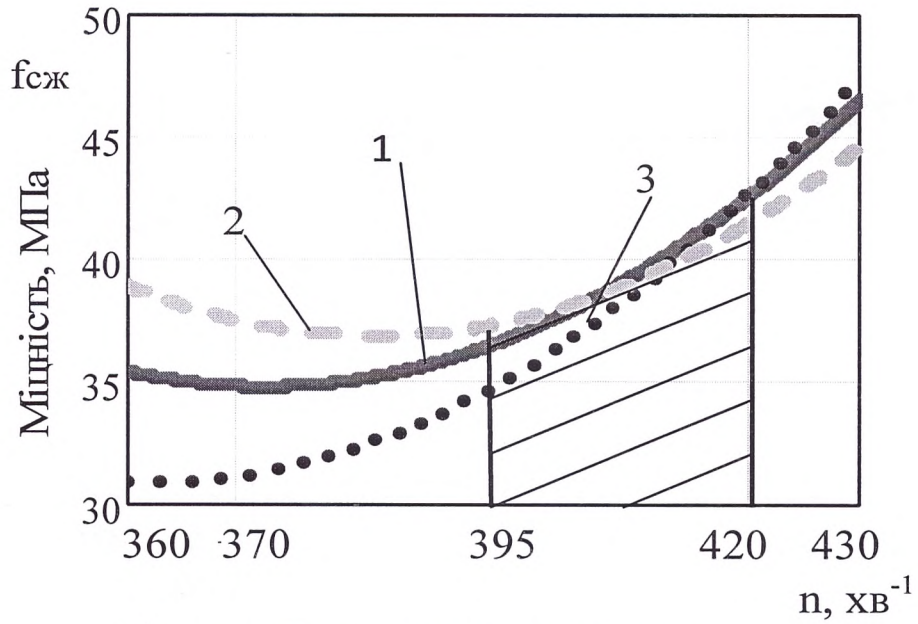
$$Y_2 = 51{,}9 + 1{,}1n + 0{,}8t - 0{,}27t^2 + 0{,}25h^2 + 0{,}37t \cdot h \quad (3.4)$$

Обробка отриманих даних у результаті реалізації експериментів проводилася за допомогою комп'ютерної програми, яка дозволила провести їхній аналіз по характеру отриманих графічних залежностей.

3.4.1 Залежності показників міцності контрольних зразків бетону на стиск від:

3.4.1.1 Частоти обертання форми (опалубки)

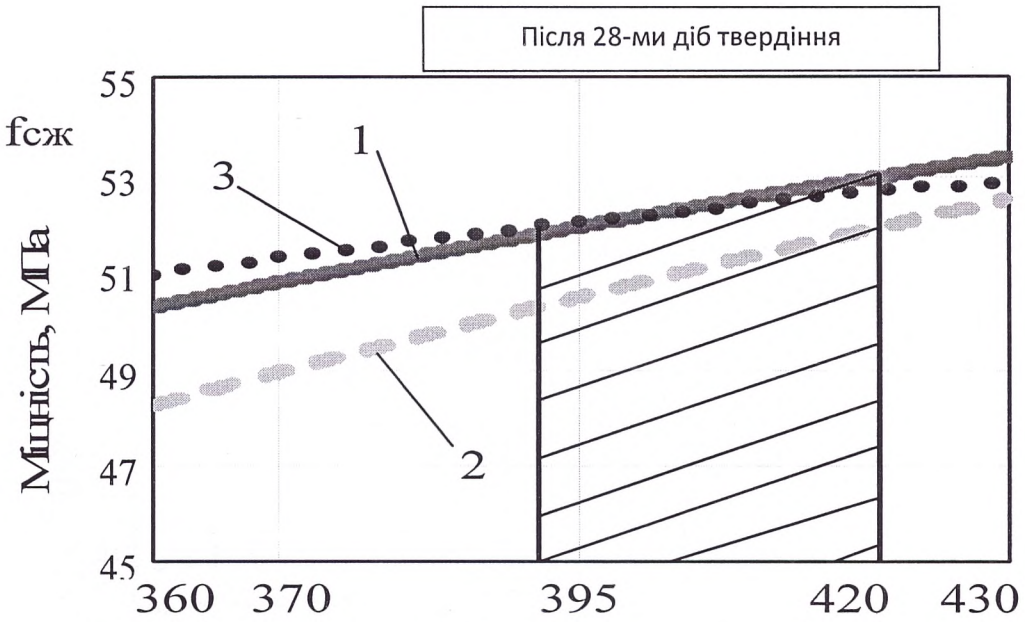
Після 7-ми діб твердіння



Const
1 – t = 17,5 хв; В/Ц = 0,27; h =1 мм
2 – t = 14 хв; В/Ц = 0,25; h =0,8 мм
3 – t = 21 хв; В/Ц = 0,29; h =1,2 мм

Рисунок 3.6 – Залежність міцності контрольних зразків бетону на стиск від частоти обертання форми (опалубки).

Характер кривих, представлених на рисунку 3.6 свідчить про те, що частота обертання опалубки впливає на міцність зразків у такий спосіб: зі збільшенням частоти обертання n до 420 $хв^{-1}$ міцність $f_{сж}$ досягає 43 МПа й продовжує рости.



а)

Const= 1 – t = 17,5 хв; В/Ц = 0,27; h =1 мм
2 – t = 14 хв; В/Ц = 0,25; h =0,8 мм
3 – t = 21 хв; В/Ц = 0,29; h =1,2 мм

Рисунок 3.7 – Залежність міцності контрольних зразків бетону на стиск від частоти обертання форми (опалубки).

Графічні залежності рисунка 3.7 показують, що при високочастотному режимі центрифугування n=420 хв$^{-1}$ (крива 1) досягається максимальна міцність зразків на стиск $f_{сж}$ = 53 МПа при часі центрифугування $t_ц$ = 17,5 хв, водоцементному відношенні В/Ц= 0,27, показник рівномірності укладання суміші, при цьому, становить h=1, що свідчить про можливість зменшення циклу формования виробів, не знижуючи їх показників міцності.

Таким чином, з результатів проведених досліджень установлений діапазон раціональних частот обертання форми: n= 390 - 420 хв$^{-1}$.

Характер кривих рисунка 3.7 свідчить про ріст показників міцності бетону на стиск. Однак можливості заводського устаткування обмежені й не дозволяють частоту обертання n центрифуги підвищити більш 450 хв$^{-1}$.

3.4.1.2 Часу центрифугування

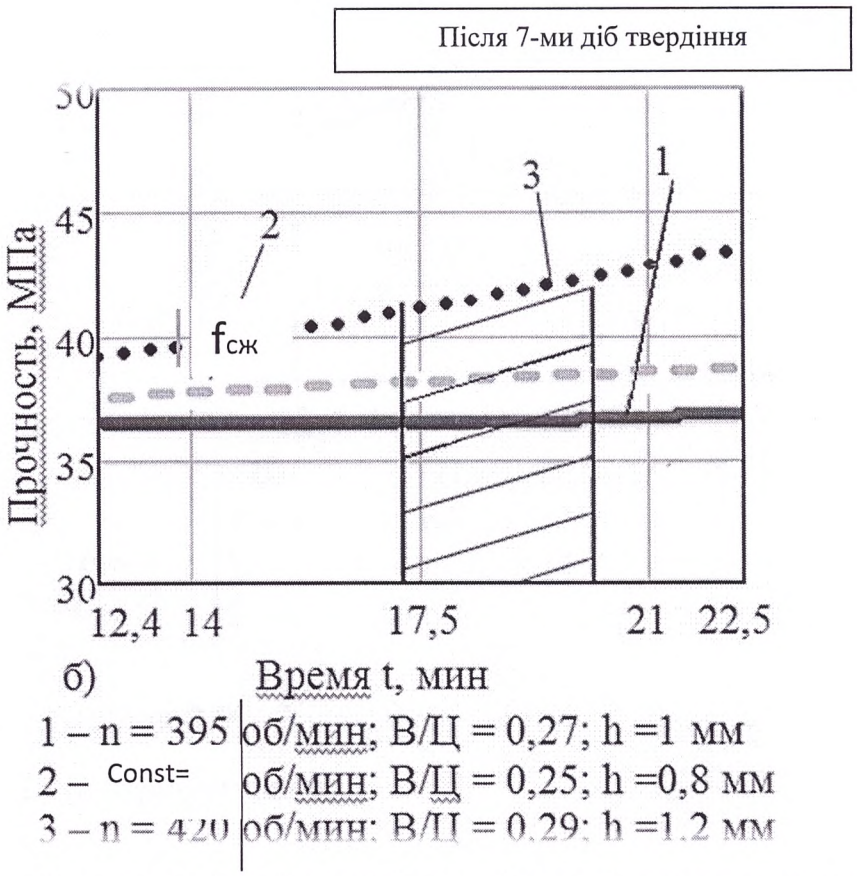


Рисунок 3.8 – Залежність міцності контрольних зразків бетону на стиск від часу центрифугування.

Характер кривих досліджуваної залежності, свідчить про те, що найбільшу міцність на стиск $f_{сж}$ = 43 МПа контрольних зразків досягається у віці семи діб дає високошвидкісний режим центрифугування (крива 3); при цьому, порівняно стабільний результат міцності виробу досягається при t = 17 – 18 хв.

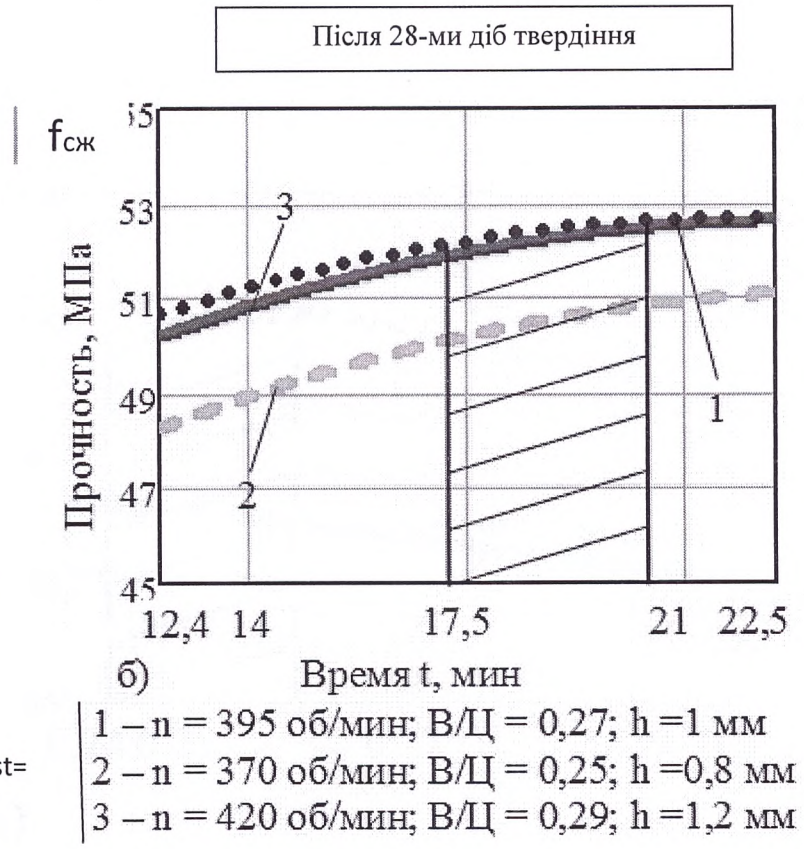
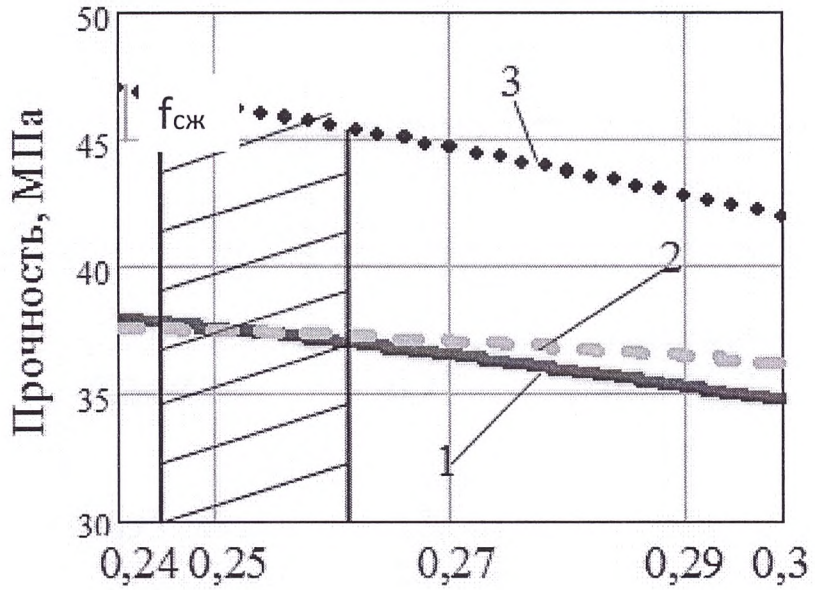


Рисунок 3.9 – Залежність міцності контрольних зразків бетону на стиск від часу центрифугування.

Графічні залежності 1 – 3, представлені на рисунку 3.9, свідчать про незначне зростання показників міцності $f_{сж}$ зі збільшенням часу центрифугування t. Можна спостерігати, що в діапазоні часу центрифугування t= 17-18 хв досягається максимальна величина $f_{сж}$ = 53 МПа й подальше збільшення t на 5 хв дає збільшення міцності fсж усього на 1 МПа. Отже, рекомендованим діапазоном часу центрифугування слід уважати: t = 17 – 18 хв. При цьому, характер кривих показує, що для досліджень був обраний інтервал часу t (хв), близький до умов, що забезпечують максимальну міцність бетону на стиск.

3.4.1.3 Водоцементного відношення

Після 7-ми діб твердіння



в)

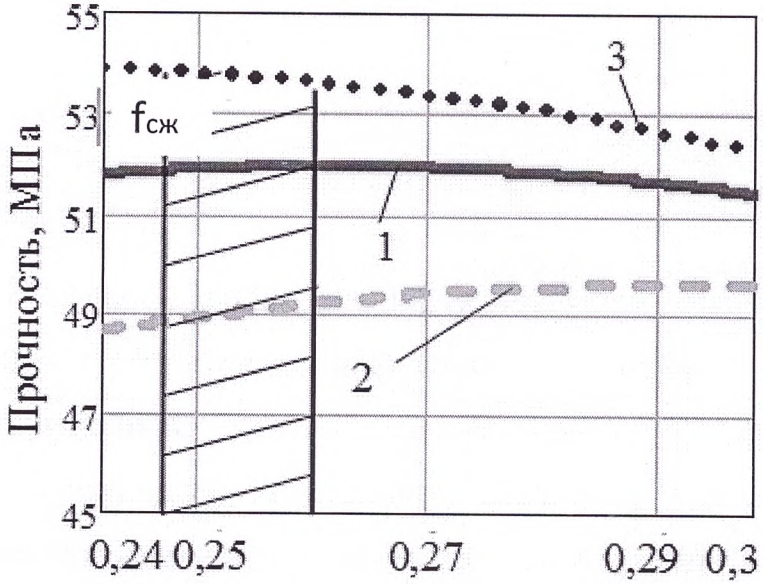
1 – n = 395 об/мин; t = 17,5 мин; h =1 мм
2 – n = 370 об/мин; t = 14 мин; h =0,8 мм
3 – n = 420 об/мин; t = 21 мин; h =1,2 мм

Рисунок 3.10 – Залежності міцності контрольних зразків бетону на стиск від водоцементного відношення бетонної суміші.

Відомо, що на показники міцності бетонів істотний вплив виявляє водоцементне відношення.

Згідно із графіками рисунка 3.10 зі збільшенням водоцементного відношення показники міцності контрольних зразків бетону (крива 1, 2, 3) падають. Це свідчить про те, що режим центрифугування ефективний при роботі на малорухомих бетонних сумішах. З підвищенням водоцементного відношення (В/Ц) міцність зразків бетону падає.

Після 28-ми діб твердіння



1 – n = 395 об/мин; t = 17,5 мин; h =1 мм
Const= 370 об/мин; t = 14 мин; h =0,8 мм
3 – n = 420 об/мин; t = 21 мин; h =1,2 мм

Рисунок 3.11 – Залежності міцності контрольних зразків бетону на стиск від водоцементного відношення бетонної суміші.

Із залежностей, представлених на рисунку 3.11, випливає, що рекомендованим діапазоном водоцементного відношення для одержання виробів з високими показниками міцності на стиск при збереженні високочастотного режиму центрифугування, можна рекомендувати діапазон В/Ц = 0,24 ÷ 0,26, який забезпечує міцність контрольних зразків бетону f сж до 54 МПа.

Таким чином, знайдені діапазони раціональних параметрів робочого процесу центрифугування, що забезпечують максимальну міцність бетону на стиск, можуть бути рекомендовані для виготовлення залізобетонних стійок опор для ЛЕП при проведені вдосконалення технологічної лінії й пропонованому режимі формування стійок.

Висновки

1 Виконано аналіз діючих конструкцій обладнання для формування довгомірних трубчастих виробів способом центрифугування із зазначенням їх переваг та недоліків.

2 У результаті проведеного аналізу в умовах процесу формування залізобетонних стояків способом центрифугування знайдені залежності для знаходження параметрів, що визначають цей процес: крутного моменту форми, тиску, необхідного для ущільнення бетонної суміші у формі; швидкості її обертання.

3 Результати проведених теоретичних досліджень дозволяють визначити величину припустимої кутової швидкості обертання форми, при якій буде досягнута необхідна міцність формованого виробу, що дозволить обґрунтовано підходити до призначенню робочих режимів процесу центрифугування з погляду витрат потужності й ощадливої витрати електроенергії.

4 Визначено діапазони раціональних технологічних параметрів формування стояків СК: частоти обертання форми n = 390-420 $хв^{-1}$, часу на формування $t_ц$ = 17 - 18 хв, водоцементного відношення В/Ц = 0,24..0,27.

5 Доведено можливість переходу від дослідного устаткування до діючого в заводських умовах на підставі використання масштабних факторів згідно з результатами проведених досліджень.

Список літератури

1. Бізнес портал «Stark Project Group» technologies – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://starkproject.com/electroenergy/electric-power/1472-rozvitie-electricheskih-setej.html?showall=1.
2. Taeshin Corporation – [Електроний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.ec21.com/product-details/Centrifugal-Spinning-Machine--406128.html.
3. Changzhou, Ltd – [Електроний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://russian.aac-productionline.com/aboutus.html.
4. PMW Grou – [Електроний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.pmw-industries.com/contact-us.php.
5. Електрона стаття «Жил такой трест» / Семенко В.Д., Аргазцев Г.П., Бузницкий Е.А., Рощин А.В.// – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.energobud.com.ua/ru/konferentsii/11-publikatsii/88-zhil-takoj-trest.
6. Ламб Г. Теоретическая механика./ Г. Ламп//Т. III. ОНТИ. НКТП СССР, 1936.- 292 с.
7. Електрона стаття «Машини для ущільнення бетонної суміщі» – [Електроний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://thismaster.ru/izgotovlenie-stoek-zhb-opor/157-mashiny-dlja-uplotnenija-betonnoj-smesi.html
8. Cybernetic technologies – [Електроний ресурс]. – Режим доступа к сайту: http://www.technology-nsk.ua
9. ООО Група «Sinopower» technologies – [Електроний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://www.sinopower.cn

					ГММ 601-ММв.012 – 00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.		Луговий		20.08	Список літератури	Літ.	Лист 62 / Листів
Перев.		Васильєв		20.08		Н	
Н. контр.		Васильєв		20.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2024 р.	
Затв.		Орисенко		20.08			

10. Волков Л.А. Конструювання, дослідження та визначення параметрів обладнання для виготовлення залізобетонних труб способом центрифугування. Дисертація на здобуття ступеня кандидата техничних наук. – М.: 1999.

11. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХПІ», 2020. – 275 с.

12. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.

13. Онищенко О.Г. Будівельна техніка: Навч. посібник. — Полтава: ПДТУ, 2000. - 207с.

14. Сукач М.К. Будівельні машини і обладнання: підручник. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 390 с.

15. Лівінський О.М., Пшінко О.М., Савицький М.В., Курок О.І., Єсипенко А.Д., Бабиченко В.Я., Коваленко В.М. Пелевін Л.Є., Смірнов В.М., Волянюк В.О. Будівельні машини та обладнання. Підручник.-К.: Українська академія наук; «МП Леся», 2015,–612с.

16. Будівельні і меліоративні машини / В. Л. Баладінський, В. С. Зінь, С. В. Кравець та ін. – Рівне: РДТУ, 1998. –404 с.

17. Назаренко І. І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.

18. Сівко В. Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник. – К.: ІСДО, 1994. – 360 с.

19. Баладінський В. Л., Назаренко І. І., Онищенко О. Г. Будівельна техніка: Підручник. – Київ-Полтава: КНУБА - ПНТУ, 2002. – 463 с., іл.

20. Яцун, М.А. Електричні машини: навч. посібник/ М.А.Яцун. Видавництво Національного університету „Львівська політехніка'', 2004. – 400 с.

21. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів: довідник / Н. О. Амеліна, В. П. Азутов, О. Ю. Бердник та ін.; під загальною редакцією В. І. Гоца. – Київ : Основа, 2019. – 464 с.

22. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Ю. Щербина, В. І. Сівецький, О.В. Гондлях; – Електронні текстові дані (1 файл: 18,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с.

23. Назаренко І. І., Туманська О. В. Машини і устаткування підприємств будівельних матеріалів: Підручник. К.: Вища шк., 2004. 590 с.

24. Сівко В. И., Поляченко В. А. Обладнання підприємств промисловості будівельних матеріалів і виробів: Підручник. К.: ТОВ «АВЕГА», 2004. 280 с.

Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу

Презентаційні матеріали

ГММ 601-ММв.012-00.00.000ПМ

Магістерська робота

Дослідження робочих процесів установки для виготовлення залізобетонних виробів трубчастого перерізу

Розробив студент групи 601-ММв
В.С. Луговий

Керівник к.т.н., доц.
О.С. Васильєв

Рецензент
К.М.Ващенко

- **Мета досліджень.** Підвищення продуктивності робочого обладнання для виготовлення стояків залізобетонних типу СК опор ЛЕП електропередач способом центрифугування за рахунок використання високочастотного режиму формування при стабілізації умов заповнення форм бетонною сумішшю на підставі розкриття механізму такого процесу.
- **Завдання досліджень.** Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:
- - провести аналіз діючого устаткування для формування довгомірних виробів способом центрифугування;
- - теоретично описати процес формування залізобетонних стояків в умовах технологічної лінії з метою визначення основних показників роботи обладнання, що використовується: продуктивності, потужних витрат і часу, який для цього необхідний;
- - перевірити можливість та доцільність збільшення швидкості обертання форми при формуванні стояків способом центрифугування;
- - експериментальним шляхом визначити діапазони раціональних режимів використання обладнання для виготовлення залізобетонних стояків способом центрифугування;
- - показати можливість переходу від дослідного устаткування до діючого в заводських умовах на підставі використання масштабних факторів згідно з результатами проведених досліджень.
- .

Теоретичні залежності моделювання процесу центрифугування

Побудова математичної моделі процесу формування залізобетонних трубчастих виробів способом центрифугування

1 Визначення крутного моменту форми (опалубки) при формуванні

$$T = \left(\frac{\mu_{кож} \cdot R_1 \cdot S \cdot V_1}{\delta} \right) \cdot 1 \cdot L$$

S=2πR м – площа внутрішньої поверхні форми на 1 метрі її довжини,

V– окружна швидкість обертання форми з врахуванням її внутрішнього радіуса;

L – загальна довжина форми (опалубки);

2 Обґрунтування можливості зменшення товщини стінки виробу що формується за рахунок збільшення кутової швидкості обертання форми

$$\omega_1^2 \left(3R_2 \cdot \alpha_1 \cdot R_1 + \alpha_1^2 R_1^2 \right) = \omega_2^2 \left(3R_2 \cdot \alpha_2 \cdot R_1 + \alpha_2^2 R_1^2 \right)$$

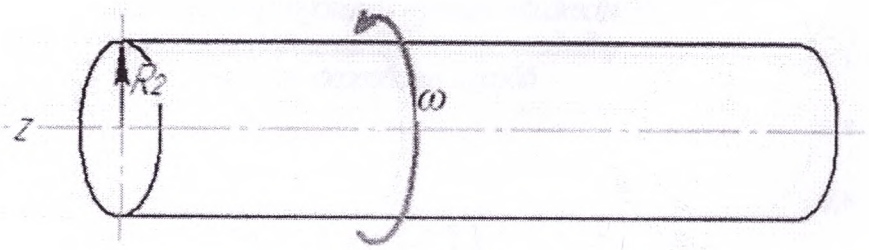
$$\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{3\alpha_1 + \alpha_1^2}{3\alpha_2 + \alpha_2^2}$$

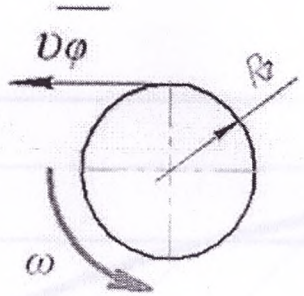
Чисельні значення відносин $\frac{\omega 2}{\omega 1}$ *при різних* α_1, α_2 / α_1.

α	α_2/α_1			
	0,5	0,3	0,2	0,1
0,1	1,426	1,847	2,265	3,209
0,2	1,437	1,867	2,294	3,255
0,3	1,447	1,887	2,322	3,3
0,4	1,458	1,906	2,349	3,344
0,5	1,463	1,925	2,376	3,388
0,6	1,477	1,943	2,402	3,43
0,7	1,486	1,96	2,427	3,472
0,8	1,495	1,977	2,452	3,513

аналіз розрахункових даних таблиці дозволяє зробити наступний висновок: зменшення товщини стінки виробу в 1,2 рази, при дотриманні вищевказаних умов, для сприйняття відповідного тиску внутрішньою стінкою форми, вимагає кутову швидкість форми ω_2, у порівнянні з кутовий швидкість ω_1, збільшити, приблизно, в 1,45 рази

Визначення кутової швидкості обертання форми залежно від фізико-механічних властивостей бетону





$$\frac{\omega_{1,3}-\omega_{1,5}}{\omega_{1,5}}=\frac{1,2335-1}{1}100\%=23,54\%$$

$$\delta_1=R_1-R_2=R_1-\frac{R_1}{1,5}=\left(1-\frac{1}{1,5}\right)R_1=0,333R_1$$

$$\delta=-R_2=R_1-\frac{R_1}{1,3}=\left(1-\frac{1}{1,3}\right)R_1=0,230R_1$$

$$\frac{R}{\delta_2}=\frac{0,333R_1}{0,230R_1}=1,444\text{x}100\%\approx 30.75\%$$

при зменшенні товщини формованої стійки в 1,444, коли середня швидкість поширення пружних хвиль при граничному стані ущільненої бетонної суміші незначна, тобто , кутова частота обертання форми повинна зрости в 1, 235 рази

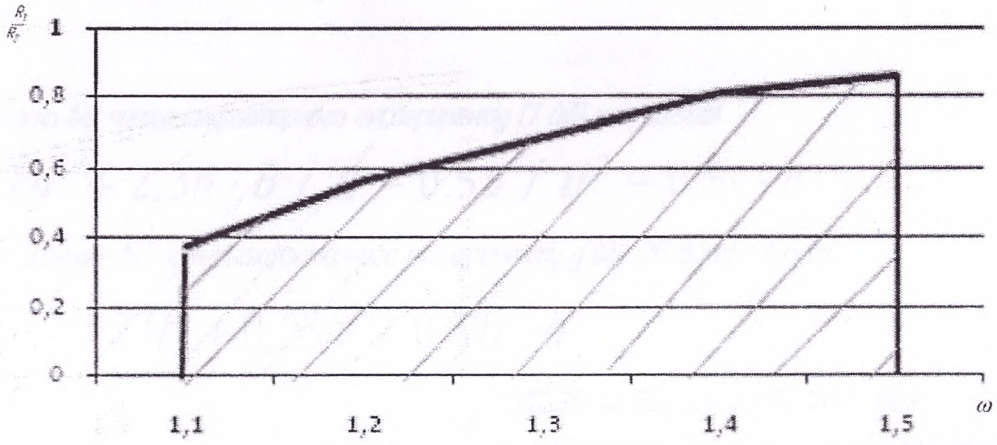
$$\frac{\omega^2R_1^4}{\left(R_1^2-R_2^2\right)^2}\le\frac{\left[f_{cx}\right]-p\left(R_2\right)}{\rho_0\cdot R_2^2\left[-2\ln\frac{R_1}{R_2}+\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^2}{R_2^2}-\frac{R_2^2}{R_1^2}\right)\right]}$$

$$\omega\le\frac{\left(R_1^2-R_2^2\right)^2}{R_1^4}\left(\frac{\left[f_{cx}\right]-p\left(R_2\right)}{\rho_0\cdot R_2^2\left[-2\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{R_1^2}{R_2^2}-\frac{R_2^2}{R_1^2}\right)\right]}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Таким чином, доведене, що кутова швидкість обертання форми згідно із залежністю при виготовленні стійок залізобетонних опор ЛЕП способом центрифугування прямо пропорційна величині f_{cx} й залежить від вихідної середньої щільності використовуваної бетонної суміші, а також від конструктивних розмірів формованого виробу.

Визначення припустимої кутової швидкості обертання форми, що забезпечує необхідну міцність формованих виробів.

$$\overline{\omega} = \frac{(\alpha - 1)}{\left[-2\alpha^2 \ln\alpha + \frac{1}{2}(\alpha^2 - 1)\right]^{\frac{1}{2}}}$$



Залежність безрозмірної кутової швидкості обертання форми (оплалубки) з формованим виробом від співвідношення радіусів R_1/R_2

Таблиця співвідношень радіусів при різних значеннях безрозмірних кутових швидкостей.

$\alpha = \frac{R_1}{R_2}$	$\overline{\omega}$
1.1	0,374
1.2	0,562
1.3	0,687
1.4	0,805
1.45	0,861

Багатофакторний аналіз залежності міцності на стиск від різних факторів

Рівняння регресії показників міцності на стиск залежно від чотирьохфакторного експерименту (7 діб) має вигляд:

$$Y_1 = 36,5 + 3,9n - 1,1B / Ц + 2,2n^2 + 2,3n \cdot B / Ц - 0,5B / Ц^2 - 0,5t \cdot h$$

Рівняння регресії показників міцності на стиск залежно від чотирьохфакторного експерименту у віці 28 діб має вигляд:

$$Y_2 = 51,9 + 1,1n + 0,8t - 0,27t^2 + 0,25h^2 + 0,37t \cdot h$$

Y - міцність бетону на стиск, ($f_{сж}$) МПа;

Фактори, що впливають на міцність відформованих виробів способом центрифугування, представлені в такий спосіб:

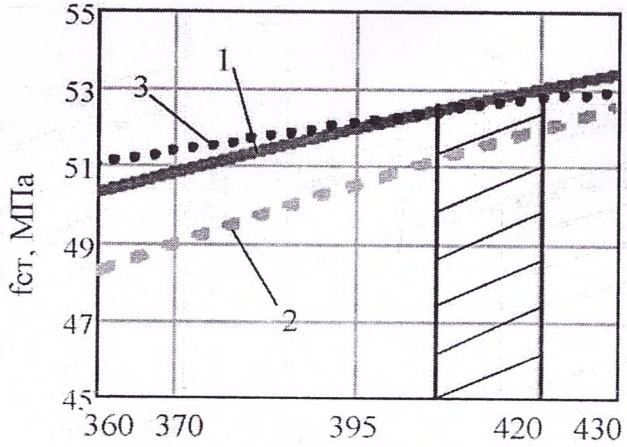
- x_1 - *частота обертання опалубки (n, хв-1);*
- x_2 - *час центрифугування (t, хв);*
- x_3 - *водоцементне відношення (В/Ц);*
- x_4 - *показник рівномірності заповнення напівопалубки бетонною сумішшю роторним бетоноукладачем (h).*

Діапазони варіювання змінними

Характеристика	Кодове значення фактора	n хв-1	t хв	В/Ц	h
Основний рівень	n_0	395	17,5	0,27	1
Інтервал варіювання	Δn_0	25	3,5	0,02	0,2
Верхній рівень	1	420	21	0,29	1,2
Нижній рівень	-1	370	14	0,25	0,8
Зоряні кроплі	1,414	430,35	22,45	0,3	1,28
	-1,414	359,65	12,55	0,24	0,72

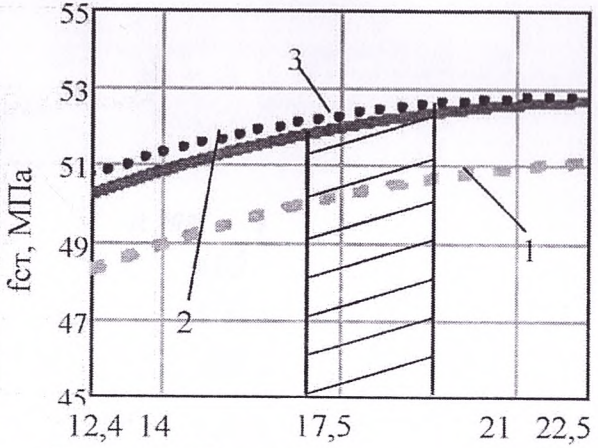
У результаті проведених експериментів установлено такі діапазони раціональних параметрів, що досліджені:
частота обертання форми (опалубки) n = 390-420 хв-1;
час tф = 17 - 18 хв;
водоцементне відношення В/Ц = 0,24...0,27;
показник рівномірності заповнення бетонною сумішшю напівопалубки роторним бетоноукладачем h= 0,8 ... 1,2

а) залежність міцності від частоти обертання,
б) залежність міцності від часу центрифугування
в) залежність міцності від В/Ц;
г) залежність міцності від показника рівномірності укладання



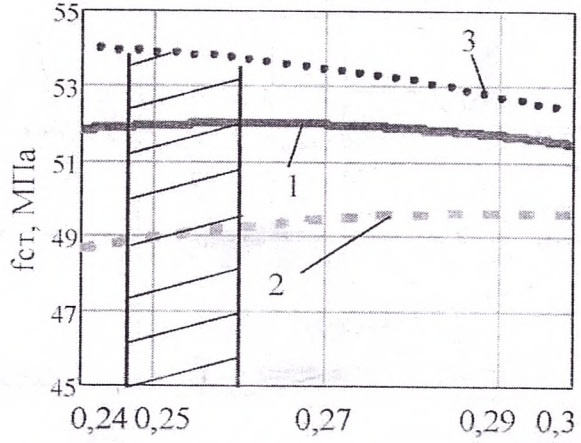
а) Частота обертання n, хв$^{-1}$

1 – t = 17,5 хв; В/Ц = 0,27; h =1 мм
2 – t = 14 хв; В/Ц = 0,25; h =0,8 мм
3 – t = 21 хв н; В/Ц = 0,29; h =1,2 мм



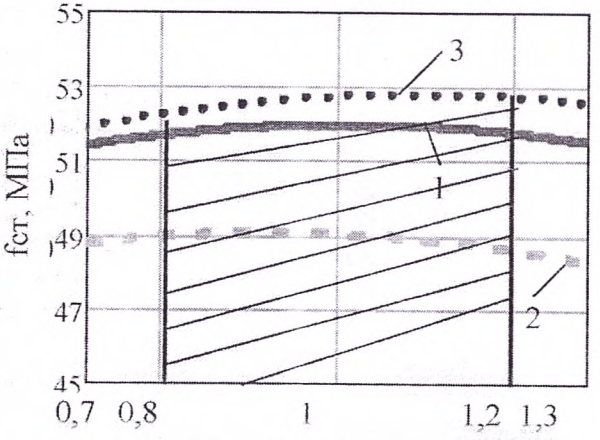
б) Час t, хв

1 – n = 395 хв$^{-1}$; В/Ц = 0,27; h =1 мм
2 – n = 370 хв$^{-1}$; В/Ц = 0,25; h =0,8 мм
3 – n = 420 хв$^{-1}$; В/Ц = 0,29; h =1,2 мм



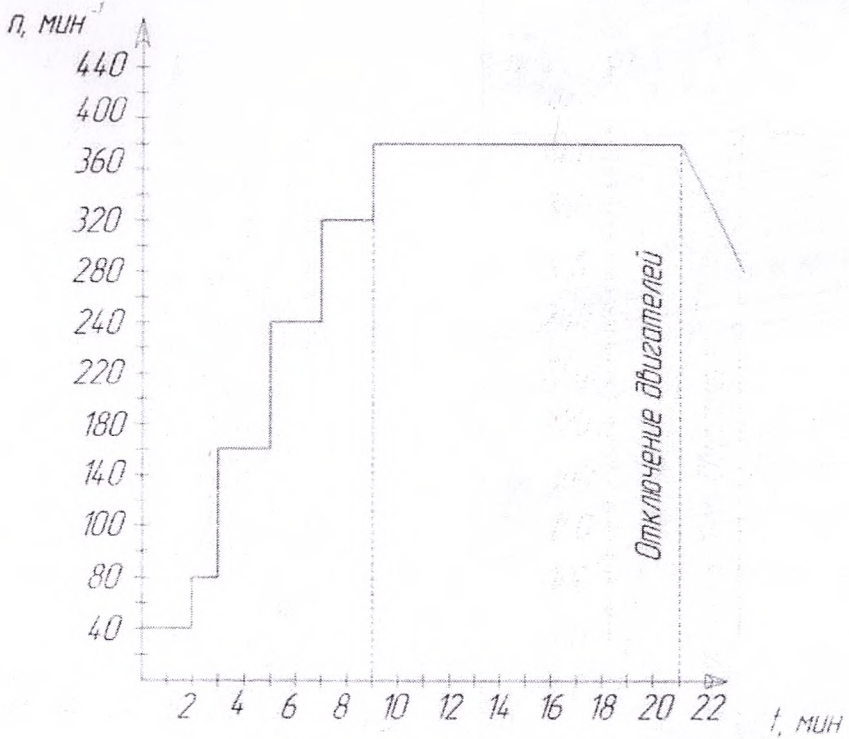
в) В/Ц

1 – n = 395 хв$^{-1}$; t = 17,5 хв; h =1 мм
2 – n = 370 хв$^{-1}$; t = 14 хв; h =0,8 мм
3 – n = 420 хв$^{-1}$; t = 21 хв; h =1,2 мм

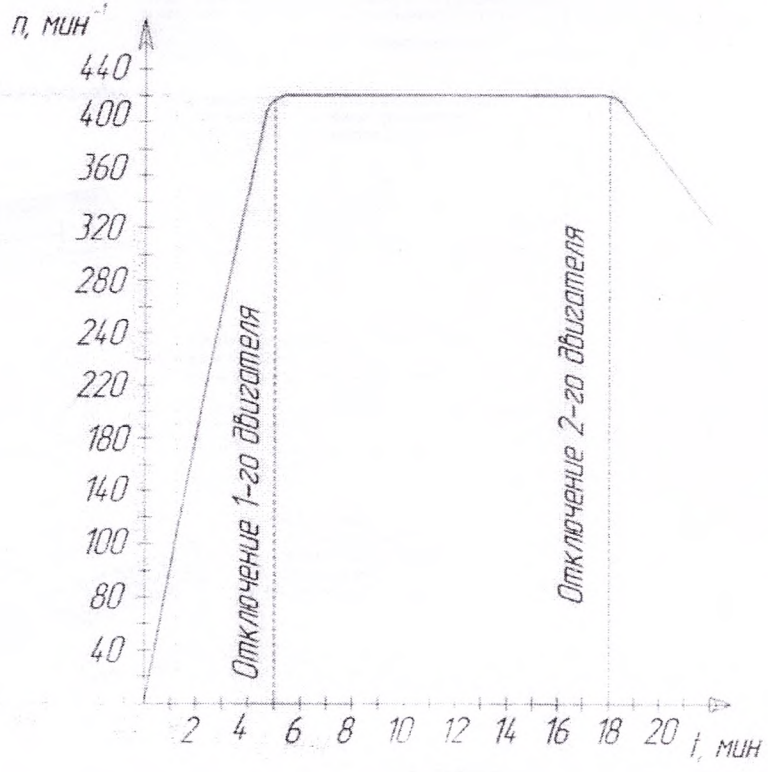


г) Показник рівномірності укладки h, мм

1 – n = 395 хв$^{-1}$; ; t = 17,5 хв; В/Ц = 0,27
2 – n = 370 хв$^{-1}$; t = 14 хв; В/Ц = 0,25
3 – n = 420 хв$^{-1}$; t = 21 хв; В/Ц = 0,29

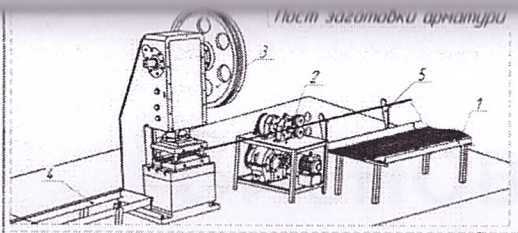


Існуючий режим



Запропонований режим

Пост заготовки арматури

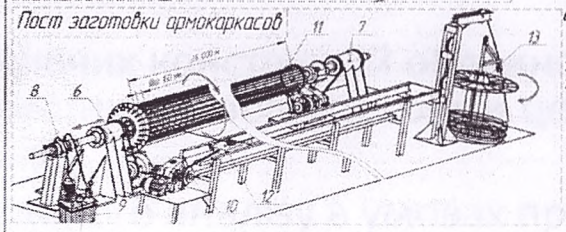


1– стелаж складування арматурних прутів;
2 – протяжний пристрій;
3 – прес К 2330 для опресування кінців и рубки арматури;
4 – стелаж с мірною лінейкойо;
5 – направляюча.

Технологічні вимоги

1. Використовується арматура ф 12 А 600 ДСТУ 3760.
2. Стрижні подаються по напрямній поз. 5 на прес.
3. Прес К2330 поз. 3, за допомогою ножиць рубає стрижні в опресовці кінці вижагає.
4. Стелаж поз. 4 має мірну лінійку по якій установлюється задвижне арматурного стрижня (25, 200 мм).

Пост заготовки армокаркасов

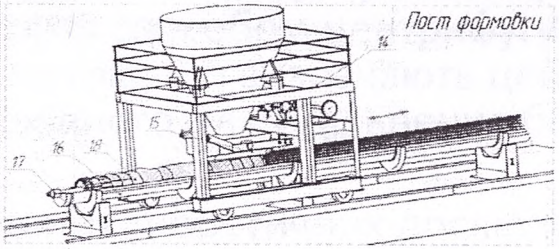


6– комлева бабка; 7 – вершинна бабка;
8 – гідродомкрат, зусилля Q = 100 т, хід поршня H=250мм;
9 – маслостанція; 10 – стенд подачи проволоки;
11– армокаркас с оголовниками; 12– каретка подачи проволоки;
13 – бухтотримач проволоки

Технологічні вимоги

1. Отгруповання армокаркаса робити силі, прикладеною з комлевої сторони и закріпляє дротом за робочу арматуру в 6-ти кроках.
2. Стрижні що натягуються установити в пази оголовників поз. 15.
3. Каркас, за допомогою гідродомкрата поз. 8, натягнути до початкового 150% від проектного.
4. Перейти обратним автозамком поз. 12, за допомогою проводів жорсткості в перевізні бабок поз. 6, 7.
5. Навісні стрижні з кроку 5 мм ДСТУ 6727-80, за допомогою каретки поз. 12.
6. Установити закладні деталі.

Пост формовки

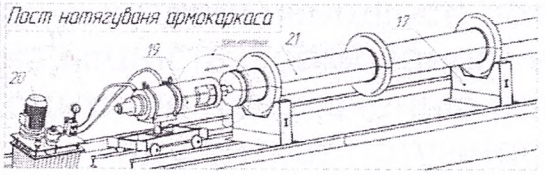


14 –бетоноукладач; 15 – лоток роздавання бетона;
16 – полуопалубка с укладеним армокаркасом;
17 – опорна тумба, 18 – бетонна суміш

Технологічні вимоги

1. Укладання бетонної суміш не повинна перевищувати 90 хв. з моменту її виготовлення.
2. Розклад бетона у кожному опалубку проводиться в такій послідовності:
   а) від вершини до комля 5-ти метрів бетонну суміш укладати до верху арматурного каркаса, а її осідання на висоту каркаса;
   б) у наступному опалубку бетонна суміш укладається рівномірно по всій довжині.

Пост натягування армокаркаса

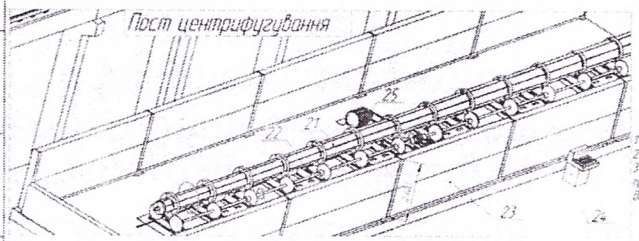


19 – гідродомкрат натяжний, зусилля Q = 360 т,
хід поршня H=400мм;
20 – маслостанція, 21 – опалубка в складі:

Технологічні вимоги

1. каркас подати проектному натягу (240 т) з контролем показників по манометру за допомогою гідродомкрата поз. 19.
2. Натягання проводити на фазу:
   а) зачепити і створювати підпір, а також натягнути;
   б) подати напір до проектного;
   в) контрольні ударного ключа напір;
   г) плавно знизити напір.

Пост центрифугування

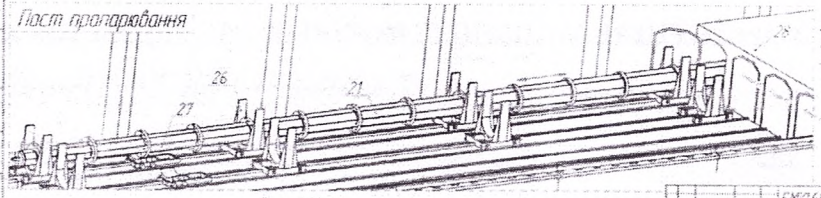


22 – машина центрифугування;
23 – захисне огородження,
24 – пульт керування машиною ЦФО;
25 – привод машини ЦФО
(2 шт. симетрично розташовані).

Технологічні вимоги

1. Форму встановити на опори машини центрифуги поз. 22 плавно без ударів.
2. Провести центрифугування з швидкістю, зазначеною.
3. Після закінчення центрифугування опорні підшипники з'єднання пристрої відтягнуті, опалубка знята, перед транспортуванням для пропарювання.

Пост пропарювання



26 – ведома тележка;
27 – приводна тележка;
28 – електромагнітна камера.

Технологічні вимоги

1. Форми поз. 21, транспортуються за допомогою ваків поз. 26,27, в електромагнітній камері поз. 28.
2. Продовжити пропарювання по спеціально заданому режиму.
3. Після пропарювання форми подати на склад виробів, де з допомогою ваків форми знімають, знімають форми, перед транспортуванням для пропарювання.
4. Вологість бетону на момент передачі виробів споживачеві не нормується.

БМД.601-НМР.023-00.00.000 НКЗ

Технологічна схема виробництва К-28

Літ. | Маса | Масштаб

Лист 11

Листів 11

Регіонтех 2013 р.

Висновки

- Виконано аналіз діючих конструкцій обладнання для формування довгомірних трубчастих виробів способом центрифугування із зазначенням їх переваг та недоліків.
- У результаті проведеного аналізу в умовах процесу формування залізобетонних стояків способом центрифугування знайдені залежності для знаходження параметрів, що визначають цей процес: крутного моменту форми, тиску, необхідного для ущільнення бетонної суміші у формі; швидкості її обертання.
- Результати проведених теоретичних досліджень дозволяють визначити величину припустимої кутової швидкості обертання форми, при якій буде досягнута необхідна міцність формованого виробу, що дозволить обґрунтовано підходити до призначенню робочих режимів процесу центрифугування з погляду витрат потужності й ощадливої витрати електроенергії.
- Визначено діапазони раціональних технологічних параметрів формування стояків СК: частоти обертання форми n = 390-420 хв$^{-1}$, часу на формування $t_ц$ = 17 - 18 хв, водоцементного відношення В/Ц = 0,24..0,27.
- Доведено можливість переходу від дослідного устаткування до діючого в заводських умовах на підставі використання масштабних факторів згідно з результатами проведених досліджень.