

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
двохпоршневого розчинобетонасоса
з горизонтально розташованими циліндрами

Виконав: здобувач VI курсу першого
(бакалаврського) рівня, групи 602-ММв,
спеціальності

133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Полулях Є.М.

(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

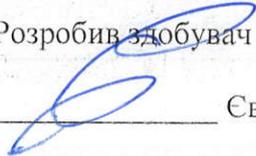
**Дослідження робочих процесів
двохпоршневого розчинобетонасоса
з горизонтально розташованими циліндрами**

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

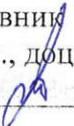
ГММ.602-ММв.037-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 602-ММв


Євген ПОЛУЛЯХ

« 19 » 08 2024 р.

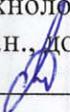
Керівник
к.т.н., доц.


Олексій ВАСИЛЬЄВ

« 19 » 08 2024 р.

Технологічний контроль

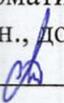
к.т.н., доц.


Олексій ВАСИЛЬЄВ

« 19 » 08 2024 р.

Нормативний контроль

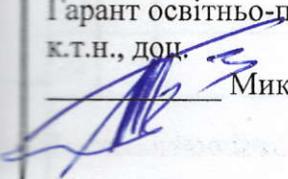
к.т.н., доц.


Олексій ВАСИЛЬЄВ

« 19 » 08 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми

к.т.н., доц.


Микола НЕСТЕРЕНКО

« 19 » серпня 2024 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки

к.т.н., доц.


Олександр ОРИСЕНКО

Перш. застос.	№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз.	При-мітка	
	1							
	2			Документація загальна				
	3							
	4			Вперше розроблена				
	5							
Справ. №	6	A4	ГММ.602-ММВ.037-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-		
	7	A4	ГММ.602-ММВ.037-00.00.000А	Анотація	2	-		
	8	A4	ГММ.602-ММВ.037-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	66			
	9							
	10							
	11							
	12				Документація			
	13				наукова			
	14							
	15				Вперше розроблена			
Лист. і дана	16							
	17	A1	БГММ.602-ММВ.037-00.00.000ПМ	Дослідження робочих процесів				
	18			двохпоршневого				
	19			розчинодетонасоса				
Лист. і дана	20			з горизонтально				
	21			розташованими циліндрами.				
	22			Презентаційні матеріали				
	23							
24								

ГММ.602-ММВ.037-00.00.000 ВР

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Полулях	<i>[Signature]</i>	19.08
Перев.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	19.06
Н.контр.		Васильєв	<i>[Signature]</i>	19.08
Затв.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	20.08

Дослідження робочих процесів
двохпоршневого розчинодетонасоса
з горизонтально розташованими циліндрами
Відомість магістерської роботи

Літера	Лист	Листів
Н	1	1

Національний університет
імені Юрія Кондратюка,
ННІТР, 2024 р.

Копіював

Формат А4

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

Напрямок підготовки _____

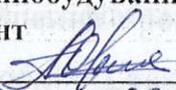
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки, к.т.н.,
доцент


«20» 03 Олександр ОРИСЕНКО
2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Полуляху Євгену Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Дослідження робочих процесів
двопоршневого розчинобетононасоса з горизонтально розташованими
циліндрами

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 діючого устаткування для транспортування
бетонних сумішей. 2. Теоретичні залежності для визначення продуктивності
розчинобетононасоса. 3. Експериментальні дослідження роботи двопоршневого
розчинобетононасоса. 4. Особливості конструкції розчинобетононасоса та галузь
його застосування. 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 (проекту)	Примітка
1	Аналіз діючого устаткування для транспортування бетонних сумішей.	20.05.2024 р.	
2	Теоретичні залежності для визначення продуктивності розчинобетонасоса	22.06.2024 р.	
3	Експериментальні дослідження роботи двопоршневого розчинобетонасоса	20.07.2024 р.	
4	Особливості конструкції розчинобетонасоса та галузь його застосування	05.08.2024 р.	
5	Оформлення роботи	15.08.2024 р.	
6	Здача готової роботи	20.08.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Євген ПОЛУЛЯХ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

(підпис)

Микола НЕСТЕРЕНКО

(прізвище та ініціали)

Анотація

Є.М. Полулях. Дослідження робочих процесів двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами . – Рукопис.

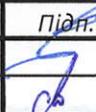
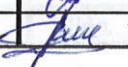
Кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”, – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024.

Магістерська дипломна робота присвячена питанням збільшення продуктивності розчинобетонасоса, через підвищення пропускної здатності клапанних вузлів. Дане обладнання забезпечує необхідні технічні характеристики для транспортування будівельних сумішей при проведенні бетонних робіт.

Теоретично отримані залежності для визначення продуктивності розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами залежно від різних факторів.

На основі експериментальних досліджень визначено діапазони раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетонасосу та технологічні параметри робочих процесів. А також описано принцип роботи та галузь використання двопоршневого розчинобетонасосу.

Ключові слова: розчинобетонасос, продуктивність, тарілчасті клапани, бетонна суміш, режими роботи.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Анотація		
Розроб.	Полулях			19.08			
Перев.	Васильєв			19.08			
Н. контр.	Васильєв			19.08			
Затв.	Орисенко			20.08			
					Лім.	Лист	Листів
					Н		
					Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.		

Abstract

E.M. Polulakh Study of working processes of a two-piston mortar-concrete pump with horizontally located cylinders. - 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.

Mahysterskaya dyplomnaya Business posvyaschena Increase proyzvodytelnosty rozchynobetononasosa question, because of the Increase propusknoy abilities valve nodes. Dannoe equipment obespechyvaet neobhodymye Specifications for transportyrovky of building of concrete mixture while conducting work.

Teretycheskoy poluchennyye dependence for definitions producer of rozchynobetononasosa-ness with tarelchatyye valves in dependence from different factors.

On the basis of research eksperymentalnykh opredeleny dyapazony ratsyonalnykh dvuhporshnevyyu work regimes and Technological Options rozchynobetononasosu workers processes. And also describes the work and area of application dvuhporshnevyyu rozchynobetononasosu.

Keywords: rozchynobetononasos, proyzvodytelnost, tarelchatyye valves, betonnyaya Mixture, regimes work.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Эм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Дослідження робочих процесів
двохпоршневого розчинобетоннасоса
з горизонтально розташованими циліндрами

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

ГММ.602-ММв.037-00.00.000ПЗ

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Аналіз діючого устаткування для транспортування бетонних сумішей	6
1.1 Технологічні особливості робочих процесів.....	6
1.2 Устаткування закордонних фірм.....	8
1.3 Конструктивні особливості й принцип дії вітчизняних двопоршневих розчинобетонасосів	15
2 Теоретичні залежності для визначення продуктивності розчинобетонасоса ..	20
2.1 Виходячи з аналізу реологічних моделей процесу руху суміші по трубопроводу.....	20
2.2 Залежно від пропускної здатності клапанів.....	26
2.3 У залежності від властивостей бетонної суміші, що транспортується по трубопроводу.....	35
3 Експериментальні дослідження роботи двопоршневого розчинобетонасоса	41
3.1 Програма досліджень	41
3.2 Характеристика устаткування й матеріали для проведення досліджень...	41
3.2.1 Експериментальне устаткування	41
3.2.2 Матеріали	43
3.2.3 Методики проведення досліджень і обробка експериментальних даних	45
3.3 Дослідження пропускної здатності клапанів розчинобетонасоса.....	46
3.4 Визначення меж раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетонасоса й технологічних параметрів робочого процесу	48
3.4.1 Транспортування дрібнозернистих сумішей	48

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.		Полулях		19.08
Терев.		Васильєв		19.08
Н. контр.		Васильєв		19.08
Вітв.		Орисенко		20.08
ЗМІСТ				
ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ				
		Лім.	Лист	Листів
		Н	2	2
Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.				

4 Особливості конструкції розчинобетонасоса та галузь його застосування	33
4.1 Конструктивна схема та принцип роботи двопоршневого розчинобетонасоса	53
4.2. Технологічні схеми проведення робіт з використанням двопоршневого розчинобетонасоса	57
Висновки.....	62
Список літератури	63

GMM.602-MMв.037-00.00.000 ПЗ

					Лист
					3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

Вступ

Актуальність роботи. Під час індивідуального будівництва та виконання ремонтних і відновлювальних робіт діючих будівель і споруд часто виникає необхідність у невеликих обсягах бетонних сумішей. При цьому, для транспортування і подачі сумішей до місць споживання, для виконання торкрет-робіт і шприц-бетонування, частіше за все, використовують гідравлічні двопоршневі бетононасоси. У таких випадках машини використовуються не за призначенням, бо мають підвищену продуктивність і, частіше за все, працюють на рухомих будівельних сумішах, забезпечуючи їх транспортування. Використання таких машин на малорухомих сумішах є обмеженим, бо нормальна робота бетононасосів в зазначених умовах можлива тільки при використанні спеціальних добавок до суміші, що транспортується. Тому проблема створення ефективного малогабаритного обладнання є актуальною і, як показав досвід виконання сучасних будівельних робіт, вимагає швидкого вирішення. Розглядаючи проблеми будівництва з таких позицій, становлять інтерес малогабаритні розчинобетононасоси, що працюють як на рухомих, так і на малорухомих сумішах, продуктивність яких становить 4,0 ... 5,0 м³/год.

Цілий ряд створених двопоршневих розчинобетононасосів різних конструктивних рішень апробовано на багатьох будівельних об'єктах міста Харкова та інших міст України. Досвід експлуатації таких розчинобетононасосів дозволив звернути увагу на виявлені недоліки існуючих конструкцій і створити більш досконалі, поліпшити процес транспортування сумішей, забезпечивши їх стабільну подачу.

Однією з таких машин є двопоршневий розчинобетононасос з

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Полулях			19.08	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Васильєв			19.08	н	4	2
Н. контр.	Васильєв			19.08	Вступ Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2024 р.		
Затв.	Орисенко			20.08			

горизонтальним розташуванням циліндрів і тарілчастими клапанами.

Мета досліджень. Дослідження характеристик розчинобетононасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів і виявлення умов стабільної подачі бетонної суміші по трубопроводу з урахуванням її властивостей, які є характерними для в'язкопластичного середовища.

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

- провести аналіз діючого обладнання для транспортування бетонних сумішей, виконання робіт способом мокрого торкретування і шприц-бетонування;
- розробити принципову схему двопоршневого розчинобетононасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів для роботи на бетонних сумішах різного призначення;
- знайти залежності для визначення продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами залежно від різних факторів;
- визначити діапазони раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетононасосу та технологічні параметри робочих процесів ;
- описати принцип роботи та галузь використання двопоршневого розчинобетононасосу.

Об'єкт дослідження. Процеси транспортування бетонних сумішей різного призначення по трубопроводах та виконання торкрет-робіт мокрим способом.

Предмет дослідження. Двопоршневий розчинобетононасос з горизонтальним розташуванням циліндрів і тарілчастими клапанами.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

1 АНАЛІЗ ДІЮЧОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

1.1 Технологічні особливості робочих процесів

Машини й устаткування для транспортування будівельних розчинів і бетонних сумішей по трубопроводах повинні працювати в таких режимах, щоб зберегти стабільність перекачування сумішей на всій шляху їх проходження.

Бетонна суміш є неньютонівською рідиною й може бути розглянута як модель Шведова-Бингама, З.П. Шульмана, Олдройда або Оствальда [3, 4]. При цьому, в увагу береться умова, що бетонна суміш – це в'язкопластичні середовище.

При транспортуванні бетонних сумішей по трубопроводах слід враховувати опори руху, пов'язані з виникненням напруг зрушення в пристінному шарі щодо внутрішньої поверхні трубопроводу. Вибір устаткування залежить від виду виконуваних бетонних робіт: або це подача суміші на конкретну ділянку її споживання в умовах будівництва, або спорудження, або для виконання робіт способом мокрого торкретування; або шприць-бетонування при використанні для цих цілей пневмонагнітачів, розчинонасосів, бетононасосів або розчинобетононасосів [6 – 13].

Торкретування – це спосіб бетонних робіт, при якому бетонна суміш наноситься шарово на поверхню під тиском стисненого повітря. Товщина шару, одержуваного за один прохід робочого сопла, становить 10...30 мм. Залежно від крупності заповнювача розрізняють торкрет-бетон (d_{\max} заповнювача до 10 мм.) і

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ					
Ек.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	
Розроб.	Полулях			19.08	
Перев.	Васильєв			19.08	
Н. контр.	Васильєв			19.08	
Затв.	Оршанко			20.08	
АНАЛІЗ ДІЮЧОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ			Літ.	Лист	Листів
			Н	6	14
			Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.		

шприць-бетон (d_{\max} заповнювача до 25 мм.).

При мокрому способі торкретування готова суміш подається розчинобетононасосом, (бетононасосом) по шлангові, (по трубопроводу) у робоче сопло до місця укладання. У сопло так само підводить стиснене повітря, яке, надаючи прискорення суміші, сприяє її нанесенню на поверхню з певним запасом кінетичної енергії.

Важливими перевагами способу мокрого торкретування, у порівнянні із сухим, є знижений відскік часток бетонної суміші від поверхні (10...15 %), можливість повторного використання бетонної суміші, що відскочила, відсутність пили [16]. Фірмою SIMENS-BAUNION (Німеччина) були проведені дослідження на предмет порівняння сухого й мокрого способів торкретування. Отримані результати проілюстрували, що міцність на стиск і вигин торкрет-бетону вище при мокрому способі.

Торкретне покриття відрізняється високою механічною міцністю (40...50 МПа), щільністю, водонепроникністю й морозостійкістю.

При оптимальній відстані 800...900 мм. від сопла до поверхні водонепроникність торкрет-бетону збільшується в 2...2,5 рази, а міцність – на 20...30 % у порівнянні з торкрет-бетоном, отриманим при торкретуванні на відстанях, що відрізняються від оптимального на 400...600 мм. [15].

Спосіб мокрого торкретування, крім сказаного, має ще цілий ряд переваг по порівнянню із сухим: низька собівартість 1 м³ бетону, можливість ощадливої витрати вихідних робочих сумішей і створення більш стабільних умов для одержання покриттів з високими фізико-механічними властивостями, а також поліпшені умови праці.

Спосіб мокрого торкретування при гарній організації процесу транспортування бетонних сумішей по трубопроводах знаходить широке застосування в різних видах будівництва: при виконанні ремонтних і відбудовних робіт, при реконструкції діючих будинків і споруд, зведенні тонкостінних залізобетонних конструкцій (оболонки, зводів, резервуарів), опоряджувальних роботах у тунелях, гідроізоляції й закладенню стиків збірних елементів будинків. Умови проведення

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

7

торкрет-робіт або шприць-бетонування багато в чому визначають якісні показники покладеного бетону. При виконанні таких робіт багато чого залежить від надійності й ефективності правильно обраних машин і устаткування, від тих режимів, у яких вони працюють і забезпечують умови для транспортування будівельних сумішей по трубопроводах до кінцевого пункту, зберігаючи їх однорідність.

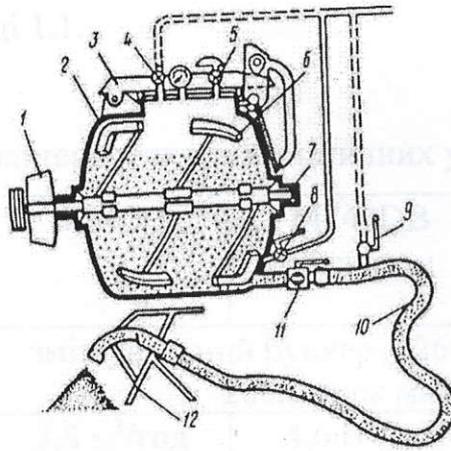
1.2 Устаткування закордонних фірм

Для виконання невеликих обсягів бетонних робіт в умовах будівельного майданчика, пов'язаних з подачею будівельних сумішей або з виконанням торкрет-робіт, недоцільно використовувати бетононасоси або автобетононасоси високої продуктивності. У таких умовах і, зокрема, при виконанні бетонних робіт у важкодоступних місцях такі машини або взагалі застосувати неможливо, або їх використовують у край неефективно. У зв'язку із цим, створення для цих цілей нового або використання вже діючого малогабаритного встаткування з необхідністю його подальшого вдосконалення завжди є актуальною проблемою.

До малогабаритного встаткування, яке використовується для транспортування й подачі будівельних сумішей, зокрема, бетонних сумішей, слід віднести пневмонагнітачі, розчинонасоси й розчинобетононасоси. Названі види машин також використовуються й для виконання торкрет-робіт.

Пневмонагнітачі (рис. 1.1) призначені для перекачування цементно-піщаних розчинів і бетонних сумішей із фракцією заповнювача до 16 мм на відстань до 200 м. по горизонталі й на висоту до 80 мм, а ряді випадків, і для виконання торкрет-робіт.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8



1 – привод; 2 – бак; 3 – кришка; 4, 8, 9, 11 – крани; 5 – запобіжний кран; 6 – лопатки; 7 – вал; 10 – трубопровід; 12 – гаситель

Рисунок 1.1 – Пневмонагнітач для перекачування цементно-піщаних розчинів і бетонних сумішей

Пневмонагнітач має бак із кришкою 3, дозувально-змішувальні лопати 6, які встановлено на приводному валу 7, що одержує крутний момент від привода 1. Пневмонагнітач оснащений кранами 4, 8, 9 і 11, має запобіжний кран 5, пов'язаний із трубопроводом 10 і гасителем 12. Під час роботи бак 2 через завантажувальну вирву заповнюють розчином (бетонною сумішшю), закривають кришкою 3. Стиснене повітря, яке надходить від компресора в бак через крани, по трубопроводу змушує суміш рухатися до гасителя 12, який знижує швидкість руху суміші, гасить виникаючі в трубопроводі її коливання й подає вже рівномірну суміш споживачеві [11].

Відомо, що виготовленням пневмонагнітачів займається ряд фірм Німеччини, зокрема фірма, “Putzmeister”. Представниками її продукції є установки Mixokret M 740 D [18] і Mixokret M 760 DH [19]. Виробництвом пневмонагнітачів займаються також фірми США, Швеції, Японії, Росії.

Пневмонагнітальна установка Mixokret M 740 D використовується для перемішування й подачі будівельних сумішей із фракцією до 16 мм для безшовного покриття підлог. Mixokret M 740 D змонтований на власному шасі, обладнаному зчпним пристроєм і гальмовою системою.

Технічні характеристики пневматичних установок Mixokret M 740 D, Mixokret M 740 DB, Mixokret M 740 DBS зі скіпом і скраппе-

ром представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики пневматичних установок

Технічні характеристики	M740D	M740DB зі скіпом	M740DBS зі скіпом і скрап-пером
	змішувальний бункер – 260 л, корисний обсяг – 200л, тиск макс. – 8 бар		
Продуктивність	3,8 м ³ /год	4,6 м ³ /год	5,0 м ³ /год
Тиск подачі	7 бар	7 бар	7 бар
Відстань подачі	Горизонтально – 180 м, вертикально – до 30 поверхів		
Компресор	4,1 м ³ /хв; запобіжник 7 бар		
Приводний двигун	F3M 1011, дизель, 35,5 кВт		
Шасі	а-Образна рама		
Вага	1425 кг	1620 кг	1760 кг
Довжина	4603 мм	4508 мм	4760 мм
Ширина	1460 мм	1460 мм	1520 мм
Максимальна фракція	16 мм	16 мм	16 мм
Арт. номер	111 483.010	111 483.020	111 483.030

Пневмонагнітальна установка Міхокрет М 760 ДН – сама потужна машина із усіх, що випускаються.

Технічні характеристики пневматичних установок Міхокрет М 740 ДН, Міхокрет М 740 ДНВ зі скіпом, Міхокрет М 740 ДНБС зі скіпом і скраппером представлено в таблиці 1.2.

Недоліками пневмонагнітачів є: періодичність роботи, висока витрата стисненого повітря: від 3 до 40 м³/хв. Високі швидкості транспортування при переривчастій подачі (до 8... 10 м/с) і динамічні навантаження на суміш викликають її розшарування в гнучкому шлангу, удари на поворотах і необхідність кінцевого гасителя [17] при швидкісній її подачі споживачеві.

Компанія „Механік“ (Росія) випускає ряд малогабаритних розчинонасосів, наведених нижче, які використовуються при виконанні штукатурних робіт: діафрагмові й поршневі (мал. 1.2.) [20].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики пневматичних установок

Технічні характеристики	M760DH	M760DHB зі скіпом	M760DHBS зі скіпом і скрап-пером
	змішувальний бункер – 260 л, корисний обсяг – 200л, тиск макс. – 8 бар		
Продуктивність	4 м ³ /год	4,8 м ³ /год	5 м ³ /год
Тиск подачі	7 бар	7 бар	7 бар
Відстань подачі	Горизонтально - 200 м, вертикально - до 50 поверхів		
Компресор	5,3 м ³ /хв; запобіжник 7 бар		
Приводний двигун	BFM 2011, 3-циліндровий турбодизель, 45 кВт		
Шасі	а-Образна рама, підходить для пересування до 130 км/год		
Вага	1580 кг (4-цил. 1640 кг)	1770 кг (4-цил. 1815 кг)	1760 кг (4-цил. 1935 кг)
Довжина	4250 мм	4510 мм	4510 мм
Ширина	1460 мм	1520 мм	1530 мм
Максимальна фракція	16 мм	16 мм	16 мм

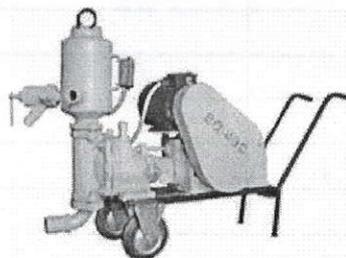


Рисунок 1.2 – Розчинонасос діафрагмовий СО-49С

Розчинонасос СО-49С призначений для транспортування й нанесення на оброблювану поверхню штукатурного розчину при виробництві опоряджувальних робіт у будівництві із крупністю заповнювача не більш 5 мм, рухливістю не менш 7 см. Його технічна характеристика наведена в таблиці 1.3.

Розчинонасос СО-50А призначений для проціджування й транспортування традиційних будівельних розчинів і інших суспензій (рідке скло, рідкі корми у тваринництві, клей ПВА, смоли і т.д.). Можлива комплектація розчинонасоса бункером з віброситом на 300 л. (рис. 1.3). Його технічна характеристика дано в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика розчинонасоса З-49С

Потужність, кВт	4
Габарити, мм	1600x500x1025
Висота подачі, м	35
Дальність подачі, м	160
Робочий тиск, МПа	1,5
Продуктивність, м ³ /год	4,25
Маса, кг	200

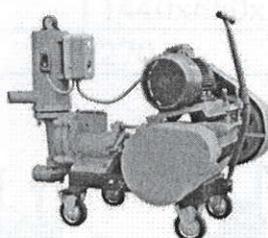


Рисунок 1.3 – Розчинонасос діафрагмовий СО-50А

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика розчинонасоса З-50А

Висота подачі, м	40
Дальність подачі, м	200
Робочий тиск, МПа	1,47
Продуктивність, м ³ /год	6
Потужність, кВт	7,5
Габарити, мм	1300x590x1150
Маса, кг	390

З деякою модернізацією пізніше з'явився розчинонасос СО-50АМ.

Поршневі розчинонасоси РНП-2500 і РНП-4000 призначені для транспортування й нанесення на оброблювану поверхню штукатурного розчину із крупністю заповнювача не більш 5 мм. при виконанні опоряджувальних робіт у будівництві. Їхні технічні характеристики наведено в таблиці 1.5.

Відомі також торкрет-установки (Росія), що виконують роботи, способом мокрого торкретування, в основі яких лежить плунжерно-діафрагмовий розчинонасос. Прикладом такої установки може служити установка СО-50 ПБН (рис. 1.4.) [8].

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

12

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики поршневих розчинонасосів РНП-2500 і РНП-4000

Технічні характеристики	РНП-2500	РНП-4000
Висота подачі, м	30	60
Дальність подачі, м	100	200
Робочий тиск, МПа	1,47	3,92
Продуктивність, м ³ /год	2,5	4,0
Потужність, кВт	3	7,5
Габарити, мм	1440x660x1470	1740x570x1500
Маса, кг	270	420

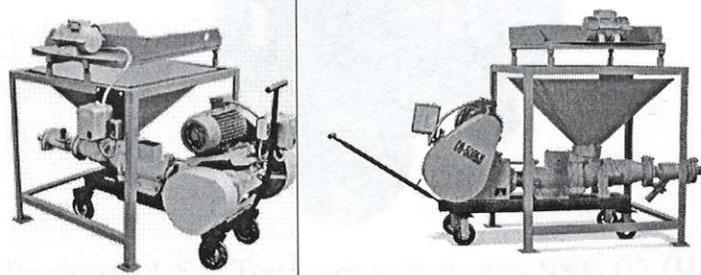


Рисунок 1.4 – Торкрет-установка СО-50 ПБН

Торкрет установка СО-50 ПБН застосовується при ремонті й зведенні будинків і споруд. Технічна характеристика установки СО-50 ПБН представлена в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика установки СО-50ПБН

Тип насоса:	плунжерно-діафрагмовий пневматичний
Продуктивність, м ³ /год	до 6
Тиск на суміш, бар	до 15
Висота подачі, м	до 50
Дальність подачі, м	до 120
Діаметр, що підключається розчинопроводу, мм	50
Обсяг прийомного бункера, м ³	0,15
Загальна встановлена потужність, кВт	7,75
Джерело стисненого повітря, м ³	від 5
Тиск, бар	7
Габарити й шасі торкрет-установки: Довжина x Ширина x Висота, м,	1,9 x 1,15 x 1,2
Вага, кг	440
Розчинна суміш із розміром заповнювача, мм	5

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

13

Однак усі вищерозглянуті розчинонасоси й торкрет-установки працюють на будівельних сумішах з максимальною фракцією заповнювача $d_{\max} = 5$ мм.

Відомі закордонні зразки торкрет-установок, які можуть працювати як у режимі мокрого торкретування, так і сухого. До таких машин відноситься торкрет-установка SSB 02 (Чехія) (рис. 1.5) [22].



Рисунок 1.5 – Торкрет-установка SSB 02 (Чехія)

Дана установка призначена для виконання торкрет-робіт середнього й великого обсягів. Вона використовується при будівництві водних споруд, для бетонування зводів тунелів і колекторів при підземному будівництві й для проведення санацій бетонних конструкцій.

Торкрет-установки, які також можуть виконувати роботи як сухим, так і мокрим способами, випускає фірма Aliva (Швеція). Серед таких установок відома торкрет-машина Aliva 263 [23], яка при необхідності може бути доповнена торкрет-маніпулятором. Установка розроблена спеціально з можливістю працювати при мокрому торкретуванні на бетонних сумішах з металевою фіброю.

Однак використання торкрет-установок для виконання робіт способом мокрого торкретування, очевидно, не є надійним, тому що конструктивні особливості машини, і зокрема, їх робочі органи не пристосовані для експлуатації на задалегідь приготовлених бетонних сумішах.

1.3 Конструктивні особливості й принцип дії вітчизняних двопоршневих розчинобетононасосів

Створенню двопоршневих розчинобетононасосів передував цілий ряд уже діючих розчинонасосів [35, 36].

На будівельних майданчиках для транспортування й укладання будівельних розчинів відоме використання діафрагмових однопоршневих і двупоршневих насосів. Це обумовлене їхніми невисокими енерговитратами, малою металоємністю, більшим міжремонтним циклом. Основоположниками діафрагмових насосів є К.М. Соколов і Д.І.Соколовский [11, 27].

Об'ємна подача діафрагмових розчинонасосів становить 2...6 м³/год при дальності подачі 50...150 м по горизонталі й 15...40 м по вертикалі [32].

Надійність діафрагмових насосів забезпечується (термін служби до першого капітального ремонту 4500 ч.) за рахунок того, що третьові поверхні плунжерної пари ізольовані гумовою діафрагмою від абразивного матеріалу, що транспортується, утримується в розчині. Плунжер безпосередньо контактує із проміжною рідиною.

Найменший термін служби (не більш 100 машино-годин) має гумова діафрагма. Причому, виготовляються діафрагми з недорогої листової гуми. Щоб збільшити термін служби гумових діафрагм рекомендується використовувати діафрагму, набрану з 3-4 шарів більш тонкої гуми.

Недоліком діафрагмових насосів є недостатня усмоктувальна й нагнітальна здатність. Ці насоси створюють тиск не більш 0,15 МПа й здатні перекачувати тільки дрібнозернисті розчини з рухливістю суміші не менш 10-12 див. [25, 28, 29]. Діафрагмові розчинонасоси - противоточні машини, піддані підвищеній пульсації незважаючи на наявність повітряного ковпака. Повітряний компенсатор працює тільки при малих тисках у розчинопроводі. Конструкція цих насосів не виключає розшаровування розчину в робочій камері.

На початку 50-х років з'явилися однопоршневі насоси [30]. У СРСР був

створений цілий ряд уніфікованих однопоршневих розчинонасосів [28, 29, 31], технічні характеристики яких наведено в таблиці 1.7. Це моделі СО – 167, СО – 168, СО – 152, СО – 171, СО – 172.

Незважаючи на переваги однопоршневих насосів, у порівнянні з діафрагмовими, однопоршневі насоси не позбавлені недоліків. У робочій камері таких насосів розчин при усмоктуванні рухається за поршнем у тому ж напрямку, а при нагнітанні – у протилежному. Такий процес руху будівельного розчину в робочому просторі насоса створює несприятливі умови для машини. Крім того, різка зміна напрямку руху сприяє розшаруванню розчину, що приводить до забивання дрібним заповнювачем клапанних вузлів і можливого виходу з ладу самої машини.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики однопоршневих розчинонасосів

Характеристики	Тип розчинонасосів				
	3152А	3-167	3-168	3-171	3-172
Продуктивність, м ³ /год	1	2-4	3 - 6	2	4
Граничний робочий тиск, МПа	1.5	3.5	3	1.5	1.5
Частота руху поршнів, хв ⁻¹	88	40 -80	40 - 80	40	80
Дальність подачі по горизонталі, м	60	250	300	100	160
по вертикалі	30	60	80	30	35
Потужність ел. двигуна, кВт	1.5	7.5	7.5	2.2	4
Габаритні розміри, м; довжина	1285	1635	1540	1390	1390
ширина	350	745	640	460	504
висота	870	1400	1250	1110	1280
Маса (без шлангів), кг	130	375	500	200	283

В 1965 р. у ФРН фірмою «Putzmeister» був запатентований двоциліндровий диференціальний розчинонасос К-139, у якому зниження рівня пульсацій забезпечується періодичним процесом усмоктування, а процес нагнітання відбувається безупинно.

Згодом в Україні на базі розчинонасоса „Putzmeister” інститутом УКРОРГТЕХСТРОЙ був розроблений розчинонасос аналогічної конструкції. Паралельно з'явилися розчинонасоси РН-2-4 (м. Полтава) і РД-2 (м. Харків) [2, 14].

У таблиці 1.8. представлені технічні характеристики цих насосів.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики розчинонасосів РН-2-4 і РД-2

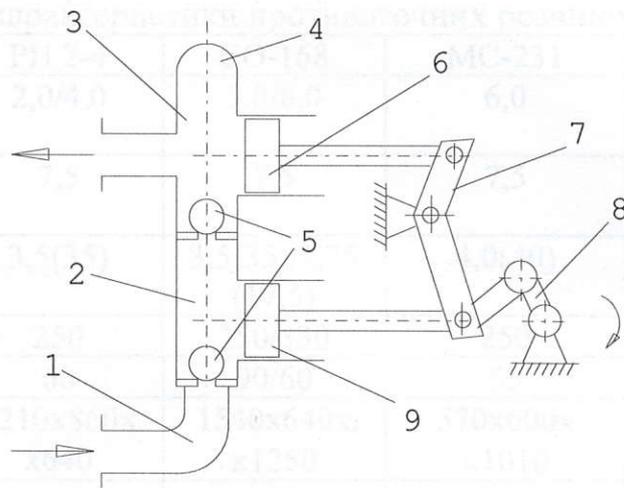
Характеристики	Тип розчинонасосів		
	РН - 2- 4	РД-2	
Продуктивність, м ³ /год	2 -4	4	
Граничний робочий тиск, МПа	0.4	0.8	
Частота руху поршнів, хв ⁻¹	250	200	
Дальність подачі, м	250	200	
			по горизонталі
по вертикалі	60	70	
Потужність ел. двигуна, кВт	7.5	5.5	
Габаритні розміри, м	1230	1480	
			довжина
			ширина
висота	5	5	
Маса (без шлангів), кг	375	480	

Принципова схема розчинонасоса типу РД-2 наведена на рис.1.6. Моделі типу РД-2 позбавлені частини недоліків, спостережуваних у конструкції насоса К-139: циліндри розташовані друг над другом, що значно зменшило гідравлічні опори й скоротило число поворотів розчину при його переміщенні усередині насоса.

Такий конструктивний розв'язок забезпечує рух поршня в компенсаційному циліндрі при малих тисках.

У розглянутих конструкціях одне й двопоршневих насосів вісь робочого циліндра перпендикулярна осі спрацьовування клапанів. При роботі на сумішах зниженої рухливості можна спостерігати так зване “зависання” кульки всмоктувального клапана в густому розчині [32].

Це можна пояснити тим, що суміш під час входу в робочу камеру омиває кульку, що перебуває в піднятому положенні не зверху, а збоку й знизу. При нагнітанні суміші в компенсаційну камеру кулька може не опуститися в гніздо клапана, і суміш буде частково витіснятися з робочої камери під кульку назад у патрубковий прийомний бункера. При цьому, продуктивність розчинонасоса різко падає або він припиняє взагалі працювати.



1 – усмоктувальний патрубок; 2 – робоча камера; 3 – компенсаційна камера; 4 – повітряний ковпак; 5 – усмоктувальний і випускний клапани; 6 – компенсаційний поршень; 7 – куліса; 8 – кривошипно-шатунний привод; 9 – робочий поршень.

Рисунок 1.6 – Протivotочний двопоршневий розчинонасос типу РД-2

Фірма „Будмаш“ (Україна) пропонує на продаж ряд розчинонасосів (рис. 1.7), технічні характеристики яких наведено в таблицях 1.9, 1.10 [33].

Усі розглянуті поршневі насоси є протivotочними, що є їхнім істотним недоліком.

Таким чином, потрібна розробка нових малогабаритних насосів, більш сучасних і універсальних, принцип дії яких був би прямоточним і які могли не тільки працювати на будівельних розчинах, але також і на дрібнозернистих, а в ряді випадків, і грубозернистих бетонних сумішах.

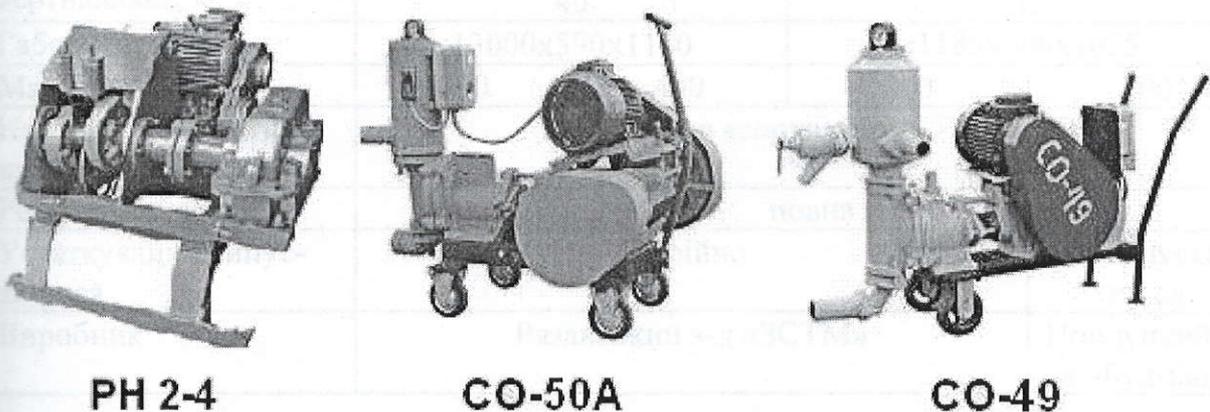


Рисунок 1.7 – Поршневі протivotочни розчинонасоси

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики противоточних розчинонасосів

Найменування	РН 2-4	СО-168	МС-231	СО-152
Продуктивність, м ³ /год	2,0/4,0	3,0/6,0	6,0	1,0
Потужність електродвигунів, кВт	7,5	7,5	7,5	1,5
Розвиваючий тиск, МПа (кг/см ²)	3,5(35)	3,5(35)/1,75 (17,5)	4,0(40)	1,47(14,7)
Горизонтальна, м	250	250/330	250	60
Вертикальна, м	60	90/60	50	30
Габарити, мм	1210x860x x640	1540x640x x1250	570x600x x1010	1850x1160x x870
Маса, кг	375	500	324	330
Наявність запчастин на складі	в асортиментах	обмежене	обмежене	обмежене
Ремонтопридатність	повна	часткова	часткова	часткова
Устаткування випускається	штучне виробництво	не випускається	не випускається	не випускається
Виробник	Вінницький з-д «Будмаш»	Маріупольський РМЗ	ЕМЗ «Главкиевго-рстрой»	Вільнюський з-д СОМ.

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики противоточних розчинонасосів

Найменування	СО-50А	СО-50АМ	СО-49С	СО-49
Продуктивність, м ³ /год	6,0		4,0	
Потужність електродвигунів, Вт	7,5		4,0	
Розвиваючий тиск, МПа (кг/див ²)	1,47(15)			1,5(15)
Дальність подачі горизонтальна, м	200		160	
	40		35	
Габарити, мм	13000x590x1150		1185x500x1025	
Маса, кг	390	400	200	200
Наявність запчастин на складі	в асортиментах			
Ремонтопридатність	повна			
Устаткування випускається	серійно			не випускається
Виробник	Рязанський з-д «ЗСТМ»			Прилуцький з-д «Будмаш»

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

19

Лист

№ докум.

Підп.

Дата

2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА

2.1 Виходячи з аналізу реологічних моделей процесу руху суміші по трубопроводу

Одним з варіантів опису процесу руху бетонної суміші по трубопроводу є реологічна модель З. П. Шульмана, яка не є Ньютоновської рідиною [76].

При цьому, розглядається ламінарний режим руху суміші.

Згідно із цією моделлю:

$$\tau^{\frac{1}{n}} = \tau_0^{\frac{1}{n}} + \left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (2.1)$$

З вищевказаного рівняння (2.1) можна одержати

$$\tau = \left[\tau^{\frac{1}{n}} + \left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} \right]^n = \tau_0 \cdot \left[1 + \frac{\left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}}}{\tau^{\frac{1}{n}}} \right]^n, \quad (2.2)$$

де τ_0 – границя текучості або гранична напруга зрушення часток суміші.

При $\tau < \tau_0$ спостерігаються малі зсувні напруги, і ядро потоку поширюється як “твердий поршень” при зростаючому опорі руху суміші.

У випадку $\frac{\left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}}}{\tau^{\frac{1}{n}}} \ll 1$ залежність (2.2) можна представити як:

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Полулях			19.08		Н	20	21
Перев.	Васильєв			19.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.		
Н. контр.	Васильєв			19.08				
Затв.	Орисенко			20.08				

$$\tau = \tau_0 \cdot \left[1 + \frac{n \left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}}}{\tau^{\frac{1}{n}}} \right] = \tau_0 + n \tau_0^{1-\frac{1}{n}} \cdot \mu^{\frac{1}{m}} \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} = \tau_0 + k' \cdot \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)^{m'}, \quad (2.3)$$

де k' – константа реологічної моделі.

Згідно із залежністю (2.3) $k' = n \tau_0^{1-\frac{1}{n}} \cdot \mu^{\frac{1}{m}}; m' = \frac{1}{m}$. Така заміна приводить до моделі Оствальда, рівнянню, яке часто називають статечним законом реології, а суміш може бути представлена рідиною Олдройда.

При $\frac{\left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{1}{m}}}{\tau^{\frac{1}{n}}} \gg 1$ рівняння (2.2) виглядає як:

$$\tau = \tau_0 \cdot \frac{\left(\mu \cdot \frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{n}{m}}}{\left(\tau^{\frac{1}{n}} \right)^n} = \left(\mu \right)^{\frac{n}{m}} \cdot \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)^{\frac{n}{m}}. \quad (2.4)$$

Таку реологічну модель також можна привести до моделі Оствальда з еквівалентними параметрами k'' й m'' :

$$\tau = k'' \cdot \left(\frac{d\vartheta}{dz} \right)^{m''}, \quad \text{де } k'' = \left(\mu \right)^{\frac{n}{m}}; m'' = \frac{n}{m}.$$

Отже, реологічна модель З.П. Шульмана може бути зведена до розгляду моделі Оствальда з тою лише різницею, що слід зробити заміну констант k і m .

При використанні статечного реологічного закону секундна витрата бетонної суміші (продуктивність розчинобетононасоса), яка транспортується по трубопроводу, може бути представлена залежністю [7]:

$$\Pi_{\text{рнб}} = Q_c = \frac{m}{(3m+1)} \cdot \pi R_{\text{мп}}^3 \cdot \left(\frac{\tau_{\text{см}}}{k} \right)^{\frac{1}{m}}. \quad (2.5)$$

Для грузлої моделі Ньютона:

$$\Pi_{\text{роб}} = Q_c = \frac{1}{4\mu} \cdot \pi R_{\text{мп}}^3 \cdot \tau_{\text{см}}, \quad (2.6)$$

де $\tau_{\text{см}}$ – зсувна напруга на стінці трубопроводу, яке випробовує бетонна суміш, що транспортується:

$$\tau_{\text{см}} = \frac{R_{\text{мп}}}{2} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l}, \quad (2.7)$$

де $R_{\text{мп}}$ – радіус трубопроводу;

$\frac{\Delta p}{\Delta l}$ – градієнт перепаду тиску по довжині трубопроводу довжиною l .

Для бетонної суміші параметр m ухвалюється рівним 0,3.

Рівність залежностей (2.5) і (2.6) дає можливість визначити параметр k :

$$k = \tau_{\text{см}} \cdot \left[\frac{4\mu}{\tau_{\text{см}}} \right]^{0,3} \cdot 0,575; k = 3.47 \cdot \tau_{\text{см}}^{0,7}. \quad (2.8)$$

Дані таблиці 2.1 дозволяють побачити як користуючись формулою (2.5) можна визначити продуктивність розчинобетононасоса.

Таблиця 2.1 – Розрахункові дані для визначення продуктивності розчинобетононасоса

D, м	R, м	Перепад тиску в трубопроводі $\Delta p = 1,5 \cdot 10^7$ Па				
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=18$ м	$\tau_{\text{см}}=1.04$ 2·104 Па	$k=2.253 \cdot 10^3$	$Q_c=1.277 \cdot 10^3$ м ³ /з	$Q_{\text{ч}}=4.596$ м ³ /ГОД
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=20$ м	$\tau_{\text{см}}=9.37$ 5·103 Па	$k=2.093 \cdot 10^3$	$Q_c=1.149 \cdot 10^3$ м ³ /з	$Q_{\text{ч}}=4.135$ м ³ /ГОД
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{\text{см}}=7.5 \cdot 10^3$ 03 Па	$k=1.79 \cdot 10^3$	$Q_c=9.19 \cdot 10^4$ м ³ /з	$Q_{\text{ч}}=3.308$ м ³ /ГОД
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=30$ м	$\tau_{\text{см}}=6.25 \cdot 10^3$ 103 Па	$k=1.576 \cdot 10^3$	$Q_c=7.658 \cdot 10^4$ м ³ /з	$Q_{\text{ч}}=2.757$ м ³ /ГОД

В остаточному підсумку, при $\mu = 100$ Па·з і $\bar{m} = 0.3$ суміш по Олдройду еквівалентна рідини Ньютона. Для розрахунків продуктивності розчинобетононасоса згідно з моделлю Ньютона (формула 2.6) можна користуватися даними таб-

лиці 2.2.

Результати вищенаведених досліджень слушні для транспортування бетонних сумішей по горизонтальних трубопроводах.

Для транспортування сумішей по вертикальному трубопроводу слід розглянути рух потоку нагору (потік суміші рухається проти сили ваги, рис. 2.1.) і рух потоку вниз (напрямок руху потоку збігається з напрямком сили ваги потоку рис. 2.2.).

Таблиця 2.2 – Розрахункові дані для визначення продуктивності мал. згідно із залежністю (2.13)

D,м	R,м	Перепад тиску в трубопроводі $\Delta p = 8,687 \cdot 10^7$ Па				
5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=1580$ Па·с	$Q_c=3.371 \cdot 10^4$ м ³ /з	$Q_q=1.214$ м ³ /год
5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=1200$ Па·с	$Q_c=4.439 \cdot 10^4$ м ³ /з	$Q_q=1.598$ м ³ /год
5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=650$ Па·с	$Q_c=9.19 \cdot 10^4$ м ³ /з	$Q_q=3.093$ м ³ /год
5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=500$ Па·с	$Q_c=1.065 \cdot 10^3$ м ³ /з	$Q_q=3.835$ м ³ /год
5·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=420$ Па·с	$Q_c=1.268 \cdot 10^3$ м ³ /з	$Q_q=4.566$ м ³ /год

Для визначення секундної витрати Q_c ($P_{руб}$) у наведені вище формулах (2.5) і (2.6) перепад тиску в трубопроводі довжиною l слід представити як:

$$\Delta p = p_1 - p_2 + \rho_0 g l,$$

де ρ_0 – середня щільність бетонної суміші.

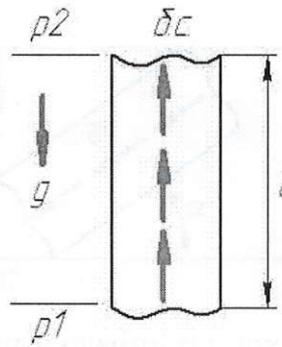


Рисунок 2.1 – Бетонна суміш рухається по трубопроводу нагору

Напрямок руху бетонної суміші й сили ваги потоку збігаються:

$$\Delta p = p_1 - p_2 - \rho_0 g l .$$

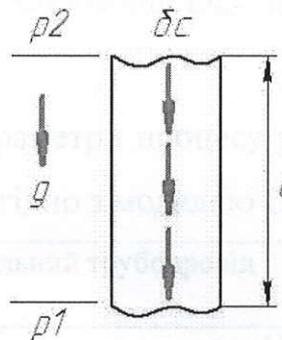


Рисунок 2.2 – Бетонна суміш рухається по трубопроводу вниз

Аналогічно розглядається процес руху бетонної суміші по трубопроводу, нахиленому до обрію під кутом α (рис. 2.3, 2.4):

$$\Delta p = p_1 - p_2 + \rho_0 g l \cdot \sin \alpha .$$

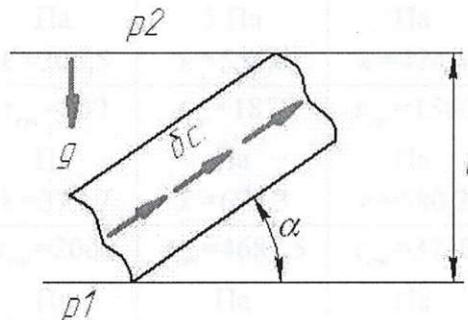


Рисунок 2.3 – Рух бетонної суміші по похилому трубопроводу нагору

$$\Delta p = p_1 - p_2 - \rho_0 g l \cdot \sin \alpha .$$

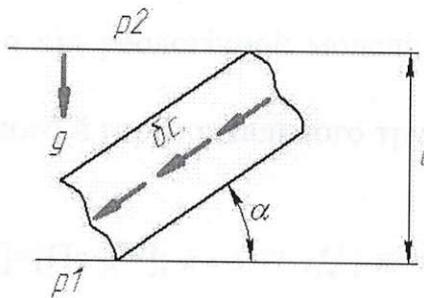


Рисунок 2.4 – Рух бетонної суміші по похилому трубопроводу вниз

Таким чином, на підставі результатів проведених досліджень у таблиці 2.10. наведені розрахункові значення напруг біля внутрішньої стінки трубопроводу τ_{cm} й значення коефіцієнта k для бетонної суміші, яка розглядається як ньютонівська гужла рідина $m=0.3$, $\mu = 100$ Па·із для діаметрів трубопроводів D_{mp} при перепаді тисків Δp і його ділянках довжиною Δl .

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри процесу руху бетонної суміші по трубопроводах різного напрямку згідно з моделлю Олдройда

Діаметр трубопроводу, D, м	Радіус трубопроводу, R, м	Горизонтальний трубопровід				Вертикальний трубопровід	
		$\Delta p = 8 \cdot 10^6$ Па		$\Delta p = 1,5 \cdot 10^7$ Па		$\Delta p = 86,87 \cdot 10^7$ Па	$\Delta p = 156,87 \cdot 10^7$ Па
		$\Delta l = 200$ М	$\Delta l = 250$ М	$\Delta l = 200$ М	$\Delta l = 250$ М	$\Delta l = 50$ М	$\Delta l = 50$ М
$5 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$\tau_{cm} = 500$ Па $k = 268,9$	$\tau_{cm} = 400$ Па $k = 230,0$	$\tau_{cm} = 937,5$ Па $k = 417,6$	$\tau_{cm} = 750$ Па $k = 357,2$	$\tau_{cm} = 2000$ Па $k = 709,7$	$\tau_{cm} = 3750$ Па $k = 1101,9$
$7,5 \cdot 10^{-2}$	$3,75 \cdot 10^{-2}$	$\tau_{cm} = 750$ Па $k = 357,2$	$\tau_{cm} = 600$ Па $k = 305,5$	$\tau_{cm} = 1406,2$ 5 Па $k = 554,6$	$\tau_{cm} = 1125$ Па $k = 474,4$	$\tau_{cm} = 3000$ Па $k = 942,6$	$\tau_{cm} = 5625$ Па $k = 1463,6$
10-1	$5 \cdot 10^{-2}$	$\tau_{cm} = 1000$ Па $k = 436,8$	$\tau_{cm} = 800$ Па $k = 373,7$	$\tau_{cm} = 1875$ Па $k = 678,3$	$\tau_{cm} = 1500$ Па $k = 580,2$	$\tau_{cm} = 4000$ Па $k = 1152,8$	$\tau_{cm} = 7500$ Па $k = 1790,1$
$2,5 \cdot 10^{-1}$	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$\tau_{cm} = 2500$ Па $k = 829,6$	$\tau_{cm} = 2000$ Па $k = 709,7$	$\tau_{cm} = 4687,5$ Па $k = 1288,1$	$\tau_{cm} = 3750$ Па $k = 1101,9$	$\tau_{cm} = 10000$ Па $k = 2189,4$	$\tau_{cm} = 18750$ Па $k = 3399,6$

Примітка:

τ_{cm} – напруга біля стінки трубопроводу,

$\tau_{cm} = \frac{\Delta p \cdot R}{2\Delta l}$, незалежно від реологічної моделі, визначене в Па для різних

значень Δp , R , Δl вертикального й горизонтального трубопроводів,

$$[k] = \left[\frac{H \cdot c^{\bar{m}}}{M^2} \right] = [\text{Па} \cdot \text{с}^{\bar{m}}] = [\text{Па} \cdot \text{з}^{0,3}]; k = 3.47 \cdot \tau_{cm}^{0,7}; \bar{m} = 0.3, \mu = 100 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

2.2 Залежно від пропускної здатності клапанів

Робота відкритих клапанів повинна забезпечити стабільну подачу бетонної суміші в трубопровід при наявності її мінімальних протитечій незалежно від конструктивного розв'язку цих клапанів.

За спрощеною схемою Прандтля миттєва швидкість у досліджуваних крапках потоку u_m може бути знайдена згідно із залежністю [8]:

$$u_m = \mathcal{G}_я (R_{mp}^2 - r^2) / (R_{mp}^2 - R_я^2), \quad (2.9)$$

де $\mathcal{G}_я$ – постійна швидкість потоку (ядра) бетонної суміші в трубопроводі;

R_{mp} – радіус трубопроводу;

$R_я$ – радіус ядра плинину;

R – довільно обраний радіус у ядрі потоку плинину суміші.

$$\frac{du_m}{dr} = \frac{2r \cdot \mathcal{G}_я}{R^2 - R_я^2}. \quad (2.10)$$

У такому випадку, подача бетонної суміші розчинобетоннасосом через клапанний вузол у трубопроводі (конструктивна продуктивність насоса $\Pi_{контс}$) може бути представлена як:

$$\Pi_k = Q_c = \pi \cdot R_я^2 \cdot \mathcal{G}_я + \int_{R_я}^R u_m \cdot 2\pi \cdot dr = \frac{\pi \cdot \mathcal{G}_я (R^2 - R_я^2)}{2}. \quad (2.11)$$

З іншої сторони:

$$P_k = Q_c = \pi \cdot R^2 \cdot g_{cp}. \quad (2.12)$$

З рівності залежностей для визначення $P_k=Q_c$ перебуває g_y :

$$g_y = \frac{2R^2}{R^2 - R_y^2} \cdot g_{cp}, \quad (2.13)$$

де g_{cp} – середнє значення швидкості потоку при даній подачі розчинобетоннасосом.

Середня швидкість потоку може бути взята з результатів раніше проведених досліджень розчинобетоннасосів [14]:

$$g_{cp}(L) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) g(r, \varphi, y) dr d\varphi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_y(L)} m(r, \varphi, y) dr d\varphi}. \quad (2.14)$$

де $R_y(L)$ – радіус перетину потоку в трубопроводі на відстані L ;

$m(r, \varphi, y)$ – загальна маса часток суміші;

$g(r, \varphi, y)$ – швидкість часток потоку радіусом r , що перебувають на відстані L від осі потоку з полярними координатами (r, φ) .

Діаметр трубопроводу повинен бути в 2,5...3, 0 рази більше максимального розміру заповнювача.

Аналіз роботи клапанних вузлів зроблений для тих самих аналогічних розмірів кульового й тарілчастого клапанів двохпоршневих розчинобетоннасосів.

Раніше проведені дослідження дозволили знайти залежності для визначення витрати бетонної суміші продуктивності розчинобетоннасоса, що проходить через сідло відкритого клапана насоса з урахуванням її рухливості:

- шаровий клапан:

$$P_{конс} = Q_c = \frac{4 \cdot \pi \cdot g_{max} \cdot Re \cdot d_{сед.кл.}^2}{k_{б.с.}}, \text{ м}^3/\text{з}, \quad (2.15)$$

де g_{max} – максимальна швидкість витікання бетонної суміші;

$d_{сед.кл.}$ - діаметр сідла клапана;

$k_{б.с.}$ – коефіцієнт, що враховує розрив потоку бетонної суміші, що транспор-

тується, при проходженні через сідло тарілчастого клапана насоса ($k_{б.с.}=0,8\dots0,85$).

- тарілчастий клапан:

$$P_{\kappa} = Q_c = k_{б.с.} \cdot \pi \cdot r_{сед.кл.} \cdot l_{щ} \cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак.}}{\rho_0 \cdot g} \right)}, \text{ м}^3/\text{з}, \quad (2.16)$$

де $W_{вак.}$ – розрядження, створюване поршнем;

$l_{щ}$ – розмір щілини при розкритті тарілчастого клапана;

$$k_{б.с.} \cdot \sqrt{2g \cdot \left(H_1 + \frac{W_{вак.}}{\rho_0 \cdot g} \right)} = g_{щ} - \text{швидкість витікання бетонної суміші через}$$

щілину між сідлом клапанного вузла й відкритим клапаном [14].

Отримані залежності використані при наступних дослідженнях.

Враховуючи конструктивні особливості діючих розчинобетононасосів, проаналізована робота вищевказаних клапанних вузлів.

У таблиці 2.11. представлені розрахункові дані для кульового клапана.

Таблиця 2.4 – Розрахункові дані для бетонної суміші рухливістю $\Pi_1=8$ см

Висота підйому клапана h мм	Розмір щілини $l_{щ}$ мм	Прохідна площа сідла клапана $S_{кл.}$ мм ²	Площа перетину щілини клапана $S_{щ}$ мм ²	Витрата Q_{c1} 10-3, м ³ /з при g_{1max}	Витрата Q_{c2} 10-3, м ³ /з при $g_{1cp.}$
10	7,15	1962,5	962,03	1,828	1,616
15	11,07	1962,5	1353	2,571	2,273
20	15,21	1962,5	1662	3,158	2,792
25	19,52	1962,5	1868	3,549	3,138

Примітка: діаметр сідла $d_{сед.кл.}=50$ мм; діаметр кулі клапана $d_{ш.}=50$ мм; рухливість бетонної суміші $\Pi_1=8$ див; швидкості руху потоку суміші по трубопроводу $g_{1max}=0,19$ м/с і $g_{1cp.}=0,168$ м/с.

У таблиці 2.12 представлені розрахункові дані для тих же конструктивних розмірів клапанного вузла, але при рухливості суміші $\Pi_2=5$ див. При цьому,

$$g_{2\max} = 0,12 \text{ м/с і } g_{2\text{ср.}} = 0,106 \text{ м/с.}$$

Таблиця 2.5 – Розрахункові дані для бетонної суміші рухливістю $\Pi_2=5 \text{ см}$

Висота підйому клапана $h \text{ мм}$	Розмір щілини $l_{щі} \text{ мм}$	Прохідна площа сітла клапана $S_{кл.} \text{ мм}^2$	Площа перетину щілини клапана $S_{щі} \text{ мм}^2$	Витрата $Q_{c1} 10-3, \text{ м}^3/\text{з}$ при $g_{2\max}$	Витрата $Q_{c2} 10-3, \text{ м}^3/\text{з}$ при $g_{2\text{ср.}}$
10	7,15	1962,5	962,03	0,106	1,02
15	11,07	1962,5	1353	0,106	1,434
20	15,21	1962,5	1662	0,106	1,762
25	19,52	1962,5	1868	0,106	1,98

З даних таблиць видно, що найбільш сприятливі умови роботи кульового клапана діаметром $d_{\text{сед.кл.}} = 50 \text{ мм}$ спостерігаються при висоті підйому клапана $h=25 \text{ мм}$, що дозволяє при відкритому клапані малорухомі бетонні суміші з максимальною фракцією заповнювача $d_{1\max.} = 10...15 \text{ мм}$ пропускати з мінімальними протитечіями, тим самим створивши стабільні умови для її руху по трубопроводу.

Для тарілчастих клапанів при аналогічних умовах розрахункові дані для бетонних сумішей рухомістю $\Pi_1=8 \text{ см}$ і $\Pi_2=5 \text{ см}$ представлено в таблицях 2.6 і 2.7.

З даних таблиць 2.6 і 2.7 видно, що саме кут $\alpha=15^\circ$ і розмір щілини розкриття тарілчастого клапана $l_{щі}=15,46 \text{ мм}$ дозволяє пропускати бетонні суміші з максимальним розміром заповнювача $d_{2\max.} = 10 \text{ мм}$ при її мінімальних протитечіях.

Таблиця 2.6 – Розрахункові дані для бетонної суміші рухливістю $\Pi_1=8 \text{ см}$

Величина розкриття тарілчастого клапана $l_{щі} \text{ мм}$	Кут розкриття тарілчастого клапана, α , градуси	Площа бічної поверхні $S_{б.н.} \text{ мм}^2$	Витрата $Q_{22} 10-3 \text{ м}^3/\text{з}$ при $g_{1\max}$	Витрата $Q_{12} 10-3 \text{ м}^3/\text{з}$ при $g_{2\text{ср.}}$
10.32	10	1752.12	3,329	2,944
15.46	15	2155.61	4,096	3,621
20.57	20	2556.75	4,858	4,295
25.63	25	2954.0	5,613	4,963

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

29

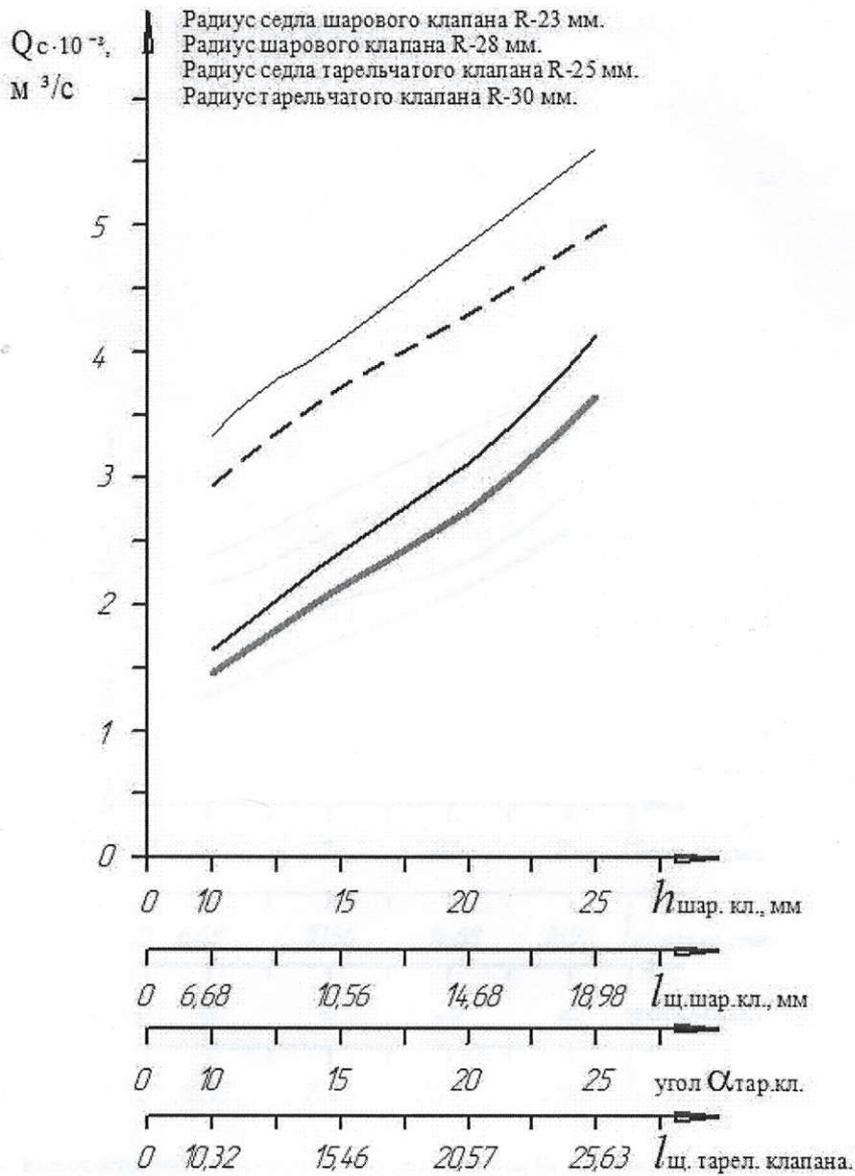
Таблиця 2.7 – Розрахункові дані для бетонної суміші рухливістю $\Pi_2=5$ см

Величина розкриття тарілчастого клапана $l_{ци}$, мм	Кут розкриття тарілчастого клапана, α гради	Площа бічної поверхні $S_{б.п.}$, мм ²	Витрата Q_{22} 10-3 м ³ /з при ϑ_{2max}	Витрата Q_{12} 10-3 м ³ /з при $\vartheta_{2cp.}$
10.32	10	1752.12	2,103	1,857
15.46	15	2155.61	2,587	2,285
20.57	20	2556.75	3,068	2,71
25.63	25	2954.0	3,545	3,131

При цьому, у таблицях 2.6 і 2.7 є присутнім кут розкриття тарілчастого клапана α , який показаний на рис. 2.8. Із проведених досліджень відомо, що саме при $\alpha=15^\circ$ мають місце найменші протитечії, про що свідчать також дані таблиці 2.8.

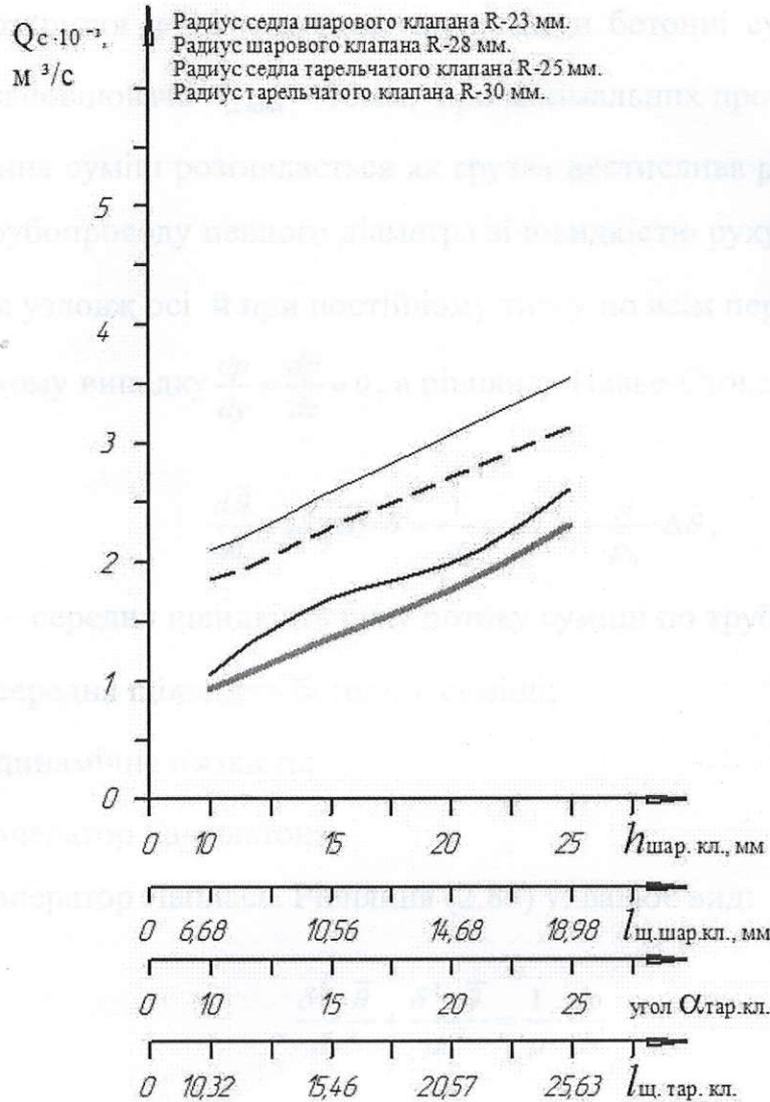
Таблиця 2.8 – Конструктивні параметри клапанного вузла з тарілчастими клапанами $d_{сед.кл.}=50$ мм і $h_1=12$ мм

Кут розкриття тарілчастого клапана, α , гради	Площа бічної поверхні, $S_{б.п.}$, мм ²	Прохідна площа перетину сідла клапана, $S_{сед.кл.}$, мм ²
10	1752.12	1962.25
15	2155.61	1962.25
20	2556.75	1962.25
25	2954.0	1962.25
30	3348.0	1962.25
35	3738.17	1962.25
40	4122.04	1962.25
45	4499.62	1962.25



- Расход бетонной смеси с подвижностью П-5 см при $V_c = 0,19$ м/с всасывающий тарельчатый клапан
- - Расход бетонной смеси с подвижностью П-8 см при $V_c = 0,12$ м/с всасывающий тарельчатый клапан
- Расход бетонной смеси с подвижностью П-5 см при $V_c = 0,19$ м/с нагнетательный шаровый клапан
- Расход бетонной смеси с подвижностью П-8 см при $V_c = 0,12$ м/с нагнетательный шаровый клапан

Рисунок 2.5 – Залежність продуктивності розчинобетоннасоса (витрати бетонної суміші) від пропускної здатності клапанних вузлів при максимальній швидкості витікання бетонної суміші (Q_{max})



- Расход бетонной смеси с подвижностью П-5 см при $V_c, -0,168$ м/с всасывающий тарельчатый клапан
- - Расход бетонной смеси с подвижностью П-8 см при $V_c, -0,106$ м/с всасывающий тарельчатый клапан
- Расход бетонной смеси с подвижностью П-5 см при $V_c, -0,168$ м/с нагнетательный шаровый клапан
- Расход бетонной смеси с подвижностью П-8 см при $V_c, -0,106$ м/с нагнетательный шаровый клапан

Рисунок 2.6 – Залежність продуктивності розчинобетоннасоса (витрати бетонної суміші) від конструктивних розмірів клапанних вузлів при обліку наявності прикордонного шару в бетонній суміші, що транспортується, і середньої швидкості її витікання $g_{cp} ()$

Графічні залежності в обох випадках свідчать про той що, при рівних умовах, більш ефективною виявляється робота двохпоршневих розчинобетоннасосів з тарілчастими клапанами в порівнянні з насосами, постаченими кульовими клапанами. Таким чином, наявність тарілчастих клапанів на розчинобетоннасосах

з кутом розкриття $\alpha=15^\circ$ дозволяє пропускати бетонні суміші з максимальною фракцією заповнювача $d_{2_{\max.}}=10\text{мм}$, при мінімальних протитечіях.

Бетонна суміш розглядається як грузла нестислива рідина, яка транспортується по трубопроводу певного діаметра зі швидкістю руху потоку \bar{g} . Швидкість спрямована уздовж осі z й при постійному тиску по всій перетину трубопроводу.

У такому випадку $\frac{dp}{dy} = \frac{dp}{dz} = 0$, а рівняння Нав'є-Стокса прийме вид:

$$\frac{d\bar{g}}{dt} + (\bar{g} \cdot \bar{\Delta}) \cdot \bar{g} = \frac{1}{\rho_0} \text{grad } p + \frac{\mu}{\rho_0} \cdot \Delta \bar{g}, \quad (2.17)$$

де \bar{g} – середня швидкість руху потоку суміші по трубопроводу;

ρ_0 – середня щільність бетонної суміші;

μ – динамічна в'язкість;

$\bar{\Delta}$ – оператор Гамильтона;

Δ – оператор Лапласа. Рівняння (2.85) ухвалює вид:

$$\frac{\delta^2 \cdot \bar{g}}{dy^2} + \frac{\delta^2 \cdot \bar{g}}{dz^2} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (2.18)$$

При цьому, $\frac{dp}{dx} = \text{const}$, і градієнт тиску можна представити у вигляді $\frac{\Delta p}{L}$, де Δp – різниця тисків на кінцях розглянутого трубопроводу ($\Delta = p_1 - p_2$), а L – його довжина.

При використанні оператора Лапласа рівняння (2.18), у полярних координатах має вигляд:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{d\bar{g}}{dr} \cdot (r \cdot \frac{d\bar{g}}{dr}) = -\frac{\Delta p}{L}, \quad (2.19)$$

де r – поточна координата положення часток бетонної суміші в перетині трубопроводу.

З рівняння (2.19) визначається середня швидкість руху потоку суміші по трубопроводу:

$$\bar{g} = -\frac{\Delta p}{4\mu L} \cdot r^2 + a \ln r + b. \quad (2.20)$$

При цьому, постійна $a=0$, тому що по всім перетину трубопроводу швидкість потоку суміші повинна бути постійної, включаючи його центральну частину. Постійну b можна визначити з умови “прилипания” якоїсь частини суміші з потоку до внутрішньої поверхні трубопроводу ($g = 0$, а $r=R_{тр.}$, де $R_{тр.}$ - радіус трубопроводу).

У такому випадку,

$$\bar{g} = -\frac{\Delta p}{4\mu L} \cdot (R_{тр}^2 - r^2). \quad (2.21)$$

Отже, швидкість руху часток суміші в межах перетину трубопроводу розподіляється за параболічним законом.

З урахуванням елементарної площі перетину трубопроводу, по яким транспортується бетонна суміш, витрата її за 1 з, (продуктивність розчинобетонасоса $\Pi_{техн}$) у кг/з, можна представити як:

$$\Pi_{техн} = Q_{сек} = 2\pi\rho_0 \int_0^{R_{тр}} r g dr. \quad (2.22)$$

Побравши в увагу залежність (2.22), можна одержати формулу для визначення технічної продуктивності ($\Pi_{техн}$) растровобетонасоса по пропускній здатності трубопроводу довжиною L :

$$\Pi_{техн} = \frac{\pi\Delta p}{8\mu L} \cdot R_{тр}^4 \cdot \text{М}^3/\text{з} \quad (2.23)$$

Такий підхід до визначення технічної продуктивності насоса можна використовувати при розгляді пропускної здатності клапанних вузлів розчинобетонасоса.

Завдання вирішується шляхом моделювання процесу руху бетонної суміші через клапанний вузол насоса: суміш проходить через відкритий клапан. При

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

цьому, R_2 – радіус сідла клапана, R_1 – радіус підстави клапана, δ_1 – товщина клапана, яка прагне до нуля ($\delta_1 \rightarrow 0$). Таке завдання можна розв'язати в такий спосіб.

Необхідно скористатися рівнянням (2.20), яке справедливо для розгляду циліндричних поверхонь при $r_1=R_1$ і $r_2=R_2$. Якщо $R_1 > R_2$ рівняння (2.20) буде справедливо для випадку, коли $R_1 < r < R_2$.

Тоді швидкість руху часток бетонної суміші через, що утворювався щілину між сідлом клапанного вузла й піднятим клапаном визначається як:

$$g_1 = \frac{\Delta p}{4\mu L} \left\{ R_2^2 - r^2 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R_2}\right) \right\}. \quad (2.24)$$

Кількість суміші, що проходить, при цьому, за 1 з, і визначає продуктивність розчинобетононасоса:

$$P_{\text{техн}} = \frac{\pi \Delta p}{8\mu L} \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right\}, \text{ м}^3/\text{з}, \quad (2.25)$$

Таким чином, аналіз пропускної здатності транспортного трубопроводу розчинобетононасоса дозволяє запропонувати залежність для визначення продуктивності розчинобетононасоса з урахуванням пропускної здатності клапанів (2.25).

2.3 У залежності від властивостей бетонної суміші, що транспортується по трубопроводу

При транспортуванні по трубопроводах будівельна суміш, зокрема, за допомогою бетононасосу може розглядатися як бингамівська рідина. Рух таких сумішей можливо тільки після додатка напруги τ_0 , де τ_0 – початкова напруга від-

носного зрушення шарів суміші в трубопроводі або границя текучості [12].

Секундна витрата суміші, що пропускається трубопроводом і рівний продуктивності розчинобетонасоса може бути також визначений з урахуванням тих напруг, які сприймає потік суміші в трубопроводі.

Припустивши, що в горизонтальному трубопроводі круглого перетину спостерігається ламінарний режим плинину нестисливої суміші.

У загальному виді для потоку суміші, що рухається в циліндричному трубопроводі, градієнт швидкості пропорційний дотичному напруженню:

$$-\frac{d\vartheta}{dr} = f(\tau), \quad (2.26)$$

де r – радіус циліндричної ділянки суміші, виділеного для розгляду її руху по трубопроводу.

У потоці, що рухається, суміші цей циліндр довжиною l_1 буде перебувати в рівновазі під дією сили опору, обумовленою різницею тисків на обох кінцях виділеного елементарного обсягу й дотичного напруження, прикладеного до його поверхні [80]:

$$\Delta p \pi r_1^2 - 2\pi \cdot r \cdot l_1 \tau_1 = 0. \quad (2.27)$$

Звідки

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta p r_1 / l_1. \quad (2.28)$$

У такому випадку, максимальна напруга в стінки трубопроводу визначається як:

$$\tau_{cm} = \frac{1}{2} \Delta p R_{mp} / l_1; \quad \tau = \tau_{cm} \cdot \frac{r_1}{R}. \quad (2.29)$$

Після перетворень і інтегрування рівняння (2.23), розподіл швидкостей потоку суміші в трубопроводі можна представити як:

$$g = \int_r^R f(\tau_{cm}) \cdot \frac{r_1}{R_{mp}} dr. \quad (2.30)$$

Елементарний обсяг суміші, визначається як:

$$dQ_c = g \cdot 2\pi r dr_1, \quad (2.31)$$

$$\int_0^Q dQ_c = \pi \int_0^R g \cdot 2\pi r dr_1 = \pi \left[g r_1^2 - \int r_1^2 dg \right]_0^R.$$

При $r=R_{mp}$ швидкість $g = 0$, секундна витрата визначається як:

$$P_{мехн} = Q_c = \pi \int_0^R r_1^2 f\left(\frac{r}{R_{mp}}\right) dr. \quad (2.32)$$

Оскільки з рівняння (2.28) $r_1 = R_{mp} \cdot \tau / \tau_{cm}$

$$P_{мехн} = Q_c = \frac{\pi R^3}{\tau_{cm}^3} \int_0^{\tau_{cm}} r^2 f(\tau) d\tau. \quad (2.33)$$

Для бингамівських сумішей $f(\tau) = \frac{(\tau - \tau_0)}{\mu}$ при $\tau_0 < \tau < \tau_{cm}$ причому, $f(\tau) = 0$ при $0 < \tau < \tau_0$. Ця умова має місце в центрі трубопроводу, де існує зона (поблизу осьової лінії), у якій напруга τ падає до нуля й де відсутня швидкість зрушення. У цій зоні суміш рухається як твердий поршень [8].

Після підстановки функції $f(\tau)$ в рівняння (2.33)

$$P_{мехн} = Q_c = \frac{\pi R^3}{\tau_{cm}^3} \left[\int_0^{\tau_0} \tau^2 d\tau \right] + \int_{\tau_0}^{\tau_{cm}} \frac{(\tau - \tau_0)}{\mu} dr. \quad (2.34)$$

В остаточному підсумку, визначення продуктивності розчинобетононасоса можна робити, користуючись моделлю Шведова-Бингама:

$$P_{мехн} = Q_c = \frac{\pi R_{mp}^3 \tau_{cm}}{4\mu} \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_{cm}} + \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_0}{\tau_{cm}} \right)^4 \right]. \quad (2.35)$$

Розрахункові дані для визначення продуктивності розчинобетононасоса при використанні залежності (2.35) представлено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахункові дані для визначення продуктивності розчинобетонно-насоса

D, м	R, м	Перепад тиску в трубопроводі $\Delta p = 8,687 \cdot 10^7$ Па				
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=1580$ Па·с	$Q_{сек}=3.371 \cdot 104$ м ³ /з	$Q_{час}=1.214$ м ³ /год
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=1200$ Па·с	$Q_{сек}=4.439 \cdot 104$ м ³ /з	$Q_{час}=1.598$ м ³ /год
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=650$ Па·с	$Q_{сек}=9.19 \cdot 104$ м ³ /з	$Q_{час}=3.093$ м ³ /год
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=500$ Па·с	$Q_{сек}=1.065 \cdot 103$ м ³ /з	$Q_{час}=3.835$ м ³ /год
5·10-2	2,5·10-2	$\Delta l=25$ м	$\tau_{cm}=4.343 \cdot 104$ Па	$\mu=420$ Па·с	$Q_{сек}=1.268 \cdot 103$ м ³ /з	$Q_{час}=4.566$ м ³ /год

З урахуванням усієї довжини трубопроводу L_{mp} при підстановці $\tau_{cm} = \frac{1}{2} \Delta p R_{mp} / L_{mp}$ в рівняння (2.103) залежність прийме вид:

$$P_{мехн} = Q_c = \frac{\pi R_{mp}^4 \Delta p}{8 \mu L_{mp}} \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{2 L_{mp} \tau_0}{\Delta p \cdot R} + \frac{1}{3} \left(\frac{2 L_{mp} \tau_0}{\Delta p \cdot R_{mp}} \right)^4 \right]. \quad (2.36)$$

У тих випадках, коли область, займана ядром потоку незначна, рівняння (2.36) можна представити без останнього члена правої частини (для $r_y / R = 0,4$ помилка становить тільки 1,8%).

$$P_{мехн} = Q_c = \frac{\pi R_{mp}^3}{4 \mu} \left(\frac{\Delta p \cdot R}{2 L} - \frac{4}{3} \tau_0 \right). \quad (2.37)$$

При цьому, швидкість руху потоку суміші по трубопроводу може бути представлена залежністю $g = \frac{1}{\mu} \cdot \int_r^R \left(\frac{\Delta p \cdot r_1}{2 L_{mp}} - \tau_0 \right) dr$, а після інтегрування:

при $r_y < r < R$

$$g = \frac{\Delta p}{4 L_{mp} \cdot \mu} (R_{mp}^2 - r_1^2) - \frac{\tau_0}{\mu} (R_{mp} - r), \quad (2.38)$$

або при $0 < r_1 < r_y$

$$g = \frac{\Delta p}{4L \cdot \mu} (R_{mp}^2 - r_j^2)^2, \quad (2.39)$$

Залежності (2.36) і (2.37) показують зв'язок між витратою суміші й перепадом тиску у випадку руху потоку суміші по трубопроводу в ламінарному режимі.

Справедливість запропонованої методики визначення $\Pi_{\text{техн}} = Q_{\text{сек}}$ (залежність (2.37)) представлена кінцевим результатом, який відповідає рівнянню Букингема [8].

Однак слід звернути увагу на те, що в залежності (2.31) і залежностях (2.36) і (2.37) одним з параметрів, що визначають продуктивність розчинобетононасосів, є динамічна в'язкість суміші, що транспортується. При транспортуванні суміші насосами слід брати в увагу наступні умови: яка суміш транспортується, яким способом вона доставляється на будівельний майданчик, скільки часу пройшло від моменту готування суміші до її подачі в розчинобетононасос.

Отже, у залежностях (2.23), (2.35), (2.36), (2.37) динамічна в'язкість суміші розглядається як функція, яка залежить від состава будівельної суміші, способу доставки її в розчинобетононасос і інтервалу часу між готуванням суміші і її подачею в насос, тобто $\mu = f(\delta, S, t)$.

Проведена серія експериментів по вивченню динамічної в'язкості бетонної суміші й будівельного розчину, що доставляються на будівельний майданчик автобетонозмішувачами, при використанні методу падаючого кульки, яка заснована на швидкості його вільного падіння [6]. Для досліджень були взяті состави будівельної суміші з різною рухливістю.

Дослідження проводилися на гравітаційному бетонозмішувачі, тому що автобетонозмішувач є машиною гравітаційної дії.

При цьому, проби будівельних сумішей бралися з обертового барабана машини кожні 10 хвилин. Частота обертання барабана змішувача $n=6 \text{ хв}^{-1}$, тобто дотримувалися умови доставки будівельної суміші на будмайданчику автобетонозмішувачем при його обертовому барабані. Робочий цикл змішувача склав 40 хв.

Для виміру рухливості досліджуваних сумішей використовувався тради-

ційний спосіб і традиційне встаткування [7].

При цьому, динамічна в'язкість визначалася по методу Стокса:

$$\mu = \frac{d^2(\rho - \rho_0)t}{18l}, \quad (2.40)$$

де d – діаметр кульки;

ρ – щільність матеріалу кульки;

ρ_0 – середня щільність бетонної суміші;

l – відстань між мітками на приладі.

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ					Лист
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ					40
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВОПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА

3.1 Програма досліджень

Експериментальні дослідження спрямовані на визначення області раціонального використання насоса як з погляду його конструктивних особливостей, так і використовуваних бетонних сумішей. Для цих цілей визначаються діапазони раціональних режимів роботи насоса при транспортуванні дрібнозернистих бетонних сумішей і при виконанні торкрет-робіт на бетонних сумішах, які містять поліакрилову фібру.

Завершальним етапом досліджень є зіставлення результатів теоретичних і експериментальних даних по:

- визначенню продуктивності розчинобетононасоса.

3.2 Характеристика устаткування й матеріалів для проведення досліджень

3.2.1 Експериментальне устаткування

Експериментальні дослідження проводилися на дослідно-промисловому зразку двопоршневого розчинобетононасоса з горизонтальним розташуванням

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТЕОРЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА			Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Полулях		<i>[підпис]</i>	19.08				Н	41	12
Перев.	Васильєв		<i>[підпис]</i>	19.08				Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2024 р.		
Н. контр.	Васильєв		<i>[підпис]</i>	19.08						
Затв.	Орисенко		<i>[підпис]</i>	20.08						

рет-робіт при ремонтних роботах діючих будинків і споруд.

Проведення робіт способом мокрого торкретування з використанням дослідно-промислового зразка двопоршневого розчинобетонасоса з тарілчастим усмоктувальним і нагнітальним кульовим клапанами, а також із двома тарілчастими клапанами [35] проводилося в лабораторних умовах. При цьому, використовувалося сопло з кільцевою насадкою, яке дозволяє одержати смолоскипову концентровану подачу бетонної суміші за допомогою стисненого повітря.

Подача додаткового потоку стисненого повітря в кільцеву щілину торкретсопла, здійснювалося від пересувної компресорної установки ПКС-5,25.

3.2.2 Матеріали

При виконанні експериментальних досліджень були використані наступні матеріали, які відповідають установленим ДСТУ. Характеристики цих матеріалів представлено в таблицях 3.1 – 3.4.

Вода для готування бетонної суміші надходила із системи централізованого водопостачання міста Харкова. Властивості води відповідають установленим ДСТУ БВ2.7 – 273:2011.

Таблиця 3.1 – Розсів піску (ДСТУ БВ 2.7 – 32 – 95)

Вид заповнювача	№ сита	Залишок на ситі, %	Менш 0,14 %	Модуль крупності	Середня щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³	Пустотність
Безлю- дівський пісок	-	-	8,96	1,3	1605	2630	42
	-	-					
	1,25	1,07					
	0,63	4,41					
	0,315	24,22					
	0,14	61,34					

3.2.3 Методики проведення досліджень і обробка експериментальних даних

Для проведення експериментів на бетонній суміші з поліакриловою фіброю використовувався портландцемент марки С50 виробництва “Евроцемент – Україна” м. Балаклея й пісок Нагорьевского кар'єру (ПГТ Безлюдовка).

Пісок просівався при використанні набору сит з величиною гнізд 0,63, 3, 5, 7, 10 мм.

Для зважування матеріалів використовувалися платформні ваги із ціною розподілу 20 г.

Готування суміші здійснювалося в трьохвальному бетонозмішувачі. При проведенні експериментів використовувалося поліакрилове волокно ТУУ32781078.002 – 2004.

Довжина волокон $l_1=6$ мм, $l_2=12$ мм, $l_3=24$ мм; $d_{гол}=0,33$ мкм.

Пластифікатор Sikaplast 520 додавався в кількості 1,5%.

Експерименти проводилися при співвідношеннях Ц/П = 1/3, 1/3,25, 1/3,5. Процентний вміст фібрових елементів $\Phi\%=0,1; 0,3; 0,5$. Рухливість суміші П = 5...7 см. Водоцементне відношення цементно-піщаної суміші, при цьому, становило 0,44.

Зважування вихідних компонентів бетонної суміші здійснювалося на електронних платформних вагах “ Універсал” ВР – 02 МСУ – 2/5 ДСТУ 24104 – 88Е.

Споживана потужність електродвигуна, необхідна для роботи розчинобетоннасоса, визначалася за допомогою амперметра “266 CLAMP METER”.

Регулювання частоти обертання робочого органа проводилося за допомогою перетворювача частоти для асинхронних двигунів Altivar 28 Telemecanique.

Формування контрольних зразків здійснювалося у формах розмірами 10x10x10 см.

Серія контрольних зразків розмірами 10x10x10 см була так само вирізана з покриттів, нанесених способом мокрого торкретування (рис.3.2).

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		45

Усі зразки випробовувалися на міцність на стиск. Для випробувань використовувався гідравлічний прес МС500 ДЕРЖСТАНДАРТ 8905 – 82. Покриття було заторкретировано поступово при нанесенні шарів бетонної суміші товщиною $\delta=30...40$ мм. Кожний наступний шар наносився після попереднього твердіння попереднього.

Паралельно з визначенням міцності на стиск на гідравлічному пресі визначалася міцність торкрет-покриття при набризку з поліакриловою фіброю за допомогою приладу «Онiкс – 2,5» (рис.3.3).



Рисунок 3.2 – Контрольні зразки з торкрет-бетону



Рисунок 3.3 – Вимірник міцності бетону «ОНІКС-2,5»

При обробці експериментальних даних були використані: система тривимірного моделювання програми Компас 3DV13, система автоматизованого проектування Mathcad 14, Microsoft Office, Matlab.

3.3 Дослідження пропускної здатності клапанів розчинобетонасоса

Теоретичні дослідження пропускної здатності тарілчастих клапанів у випадках, коли бетонна суміш розглядається, що підкоряється законам вязкопластич-

Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	----------	-------	------

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

46

ної рідини ,а також з обліком виникаючих у ній опорів [9], показали, що для до-
тримання таких умов кут розкриття тарілчастого клапана не повинен бути більш
18°. Безпосередні теоретичні дослідження тарілчастого клапана [8], як показали
чисельні дані, кут розкриття $\alpha=15^\circ$ забезпечує різке зниження можливостей появи
протитечій суміші.

Були проведені попередні експериментальні дослідження роботи відкри-
тих усмоктувальних кульового й тарілчастого клапанів, які встановлювалися по
черзі у двопоршневому розчинобетононасосі з горизонтальним розташуванням
циліндрів. При цьому, їхня робота перевірялася на ідентичних складах бетонної
суміші в умовах її транспортування. Кут розкриття тарілчастого клапана становив
15°.

Рис.3.4. а й б свідчать про правильність зроблених висновків за результата-
ми теоретичних досліджень. Дійсно, дані рис.3.4.а свідчить про те, що при відк-
ритому кульовому всмоктувальному клапані й працюючому насосі спостерігаєть-
ся наявність протитечій бетонної суміші. А на рис.3.4.б видне, що тарілчастий
клапан насоса з кутом розкриття $\alpha=15^\circ$ забезпечує стабільний рух бетонної су-
міші із завантажувального бункера, при яким протитечії суміші зведені до міні-
муму.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Вихід бетонної суміші із завантажувального бункера при відк-
ритих всмоктувальних клапанах: а – кульовому; б –тарілчастому

Таким чином, результати експериментальних досліджень підтвердили пра-

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист
47

вильність виводів теоретичних досліджень.

3.4 Визначення меж раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетононасоса й технологічних параметрів робочого процесу

Для проведення досліджень використовувався планований багатофакторний експеримент.

У якості плану експерименту був обраний ортогональний план другого порядку, що забезпечує рівність нулю всіх коваріацій між коефіцієнтами в рівнянні регресії й найвищу точність поблизу центру плану.

3.4.1 Транспортування дрібнозернистих бетонних сумішей

Для визначення продуктивності розчинобетононасоса й витрат потужності на транспортування бетонних сумішей використаний планований чотирьохфакторний експеримент. Побудовані й проаналізовані парні залежності зазначених показників насоса від рухливості бетонної суміші, кута розкриття усмоктувального тарілчастого клапана, частоти обертання колінчатого вала, кількості великого заповнювача в бетонній суміші.

Знайдені діапазони раціональних параметрів робочого процесу, що забезпечують ефективну роботу розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами.

Проведені дослідження як на малорухомих бетонних сумішах, так і на рухливих сумішах (при виконанні відбудовних робіт Свято-Покровського собору в м. Чугуєві, де на вимогу замовника використовувалися рухливі суміші).

У якості показників, що характеризують роботу устаткування у вищевказаних умовах, прийняті:

V_1 – продуктивність розчинобетононасоса П, м³/год;

При цьому, на 1 м³ бетону витрата цементу С40 становив 350 кг, піску - 600 кг, В/Ц=0,45...0,5.

У якості факторів, що визначають робочий процес, були обрані:

x_1 – рухливість бетонної суміші, П₁, див;

x_2 – кут розкриття усмоктувального тарілчастого клапана, град.;

x_3 – частота обертання колінчатого вала, хв⁻¹;

x_4 – витрата щебеня на 1 м³ бетону, кг.

Вихідні фактори планування для проведення експериментальних досліджень зазначено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вихідні фактори

Кодове значення фактора	Рухливість бетонної суміші	Кут відкриття клапана	Частота обертання колін. вала	Витрата щебенів, кг
	П ₁ , см (X1') П ₁ , см (X1'')	α, град. (X2)	п, хв ⁻¹ (X3)	z, кг (X4)
X^0_j	9/12	27,5	55	600
Dx_j	3/4	17,5	25	200
1	12/16	45	80	800
-1	6/8	10	30	400
1,414	13.24/17,66	52,25	90,35	882,8
-1,414	4.76/6,34	2,76	19,65	317,2

У результаті проведених експериментів отримані рівняння множинної регресії із чотирма змінними:

$$Y_{II} = 2.572 - 0.139x_1 - 0.136x_2 + 0.421x_3 - 0.206x_4 + 0.538x_{12} - 0.533x_2^2 - 0.18x_3^2 +$$

$$+ 0.015 x_4^2 - 0.054 x_1 x_2 + 0,073 x_1 x_3 - 0.094 x_1 x_4 - 0.058 x_2 x_3 - 0.049 x_2 x_4 + 0.103 x_3 x_4 \quad (3.1)$$

Перевірка адекватності опису поверхонь відгуку поліномом 2-ої ступені проводився по F-Критерію (критерію Фишера).

Результати обробки експериментальних даних у вигляді парних графічних залежностей наведені на рис. 3.5-3.8. Залежність продуктивності від досліджуваних факторів представлена на рис. 3.5 – 3.7.

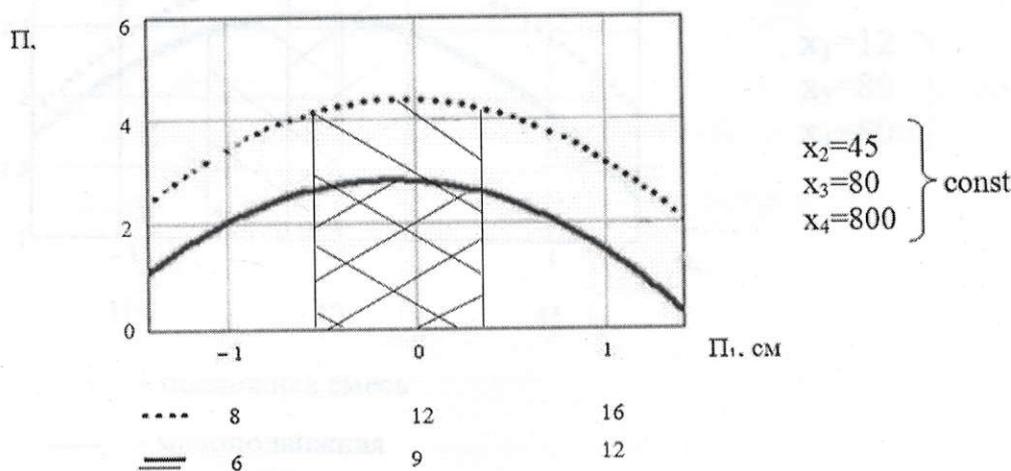


Рисунок 3.5 – Залежність продуктивності розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами (П, м³/год) від рухливості бетонної суміші (П₁ см)

Характер графічних залежностей (рис.3.5) дозволяє визначити діапазони значень раціональної рухливості бетонної суміші при зафіксованих інших параметрах процесу.

Для даного випадку виконання робіт способом мокрого торкретування ці діапазони рівні $П_1 = 8...9$ см – для роботи на малорухомих сумішах, $П_1 = 11...13$ см – на рухливих сумішах.

Параболічний характер наведених графічних залежностей свідчить про те, що у випадку використання бетонних сумішей з малою рухливістю й підвищеною рухливістю продуктивність розчинобетонасоса різна. Це пояснюється наступним. У випадку використання малорухомих сумішей: на початку машина не перейшла ще в стабільний режим роботи, що пояснюється недостатнім для цього водоцементним відношенням, а після області раціональних режимів її роботи, у

$n=60...80 \text{ хв}^{-1}$.

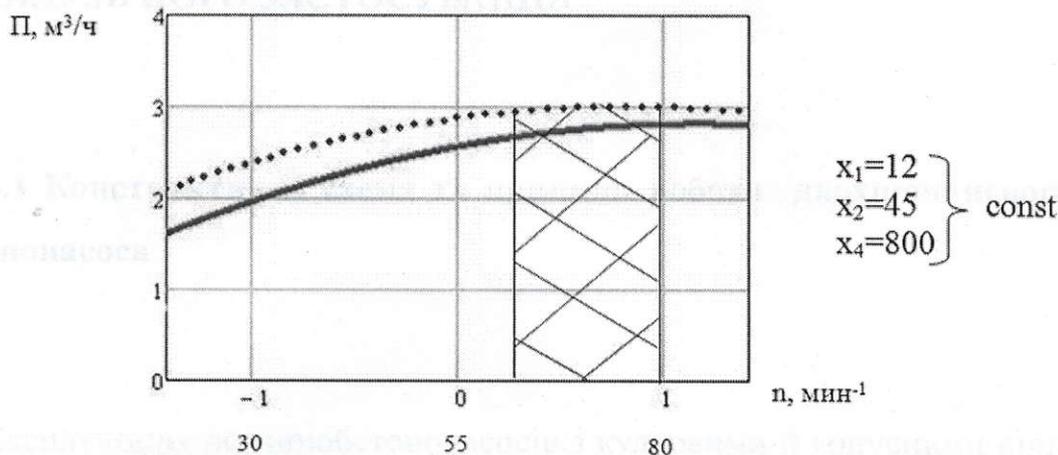


Рисунок 3.7 – Залежність продуктивності розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами (Π , $\text{м}^3/\text{год}$) від частоти обертання колінчатого вала (n , хв^{-1})

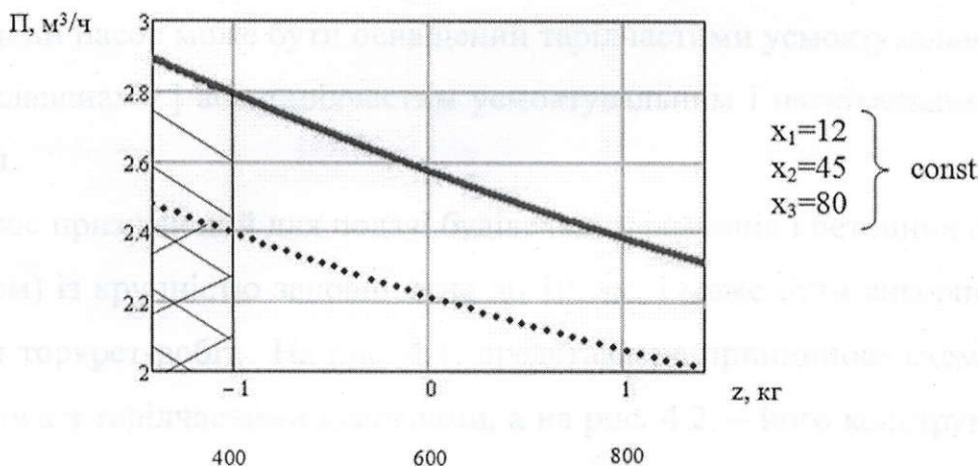


Рисунок 3.8 – Залежність продуктивності розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами ($\Pi \text{ м}^3/\text{ч}$) від змісту щебеню (z , гради)

Як видно із графічних залежностей, представлених на рис.3.8, максимальна продуктивність досягається при мінімальному змісті щебеню. Це можна пояснити збільшенням щільності суміші й зростаючими опорами в робочому просторі насоса при русі суміші з великим заповнювачем.

4 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА ТА ГАЛУЗЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

4.1 Конструктивна схема та принцип роботи двохпоршневого розчинобетонасоса

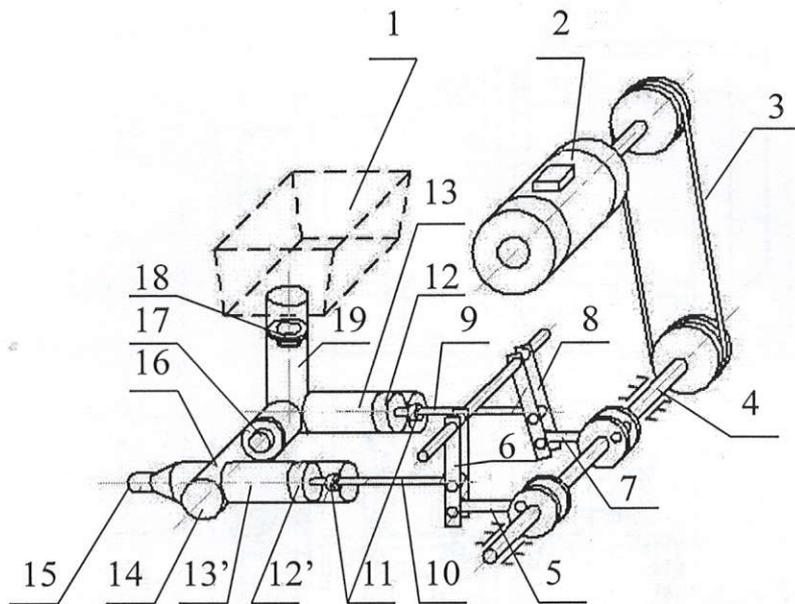
Експлуатація розчинобетонасосів з кульовими й конусними підпружиненими клапанами показала, що не завжди надійно працюють всмоктувальні клапани вищевказаних конструкцій, особливо на малорухомих бетонних сумішах.

У зв'язку із цим, запропоновано двохпоршневий розчинобетонасос із горизонтальним розташуванням циліндрів і прямоточним завантаженням бетонної суміші. Такий насос може бути оснащений тарілчастими усмоктувальним і нагнітальним клапанами] або тарілчастим усмоктувальним і нагнітальним кульовим клапанами.

Насос призначений для подачі будівельних розчинів і бетонних сумішей ($\Pi = 6 \dots 11$ см) із крупністю заповнювача до 10 мм. і може бути використаний для виконання торкрет-робіт. На рис. 4.1. представлена принципова схема розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами, а на рис. 4.2. – його конструктивна схема.

Можливий варіант використання такого насоса з усмоктувальним тарілчастим клапаном і нагнітальним кульовим клапаном. Конструктивна схема такого насоса представлена на рис.4.3.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ			
Розроб.	Полулях			19.08	ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА ТА ГАЛУЗЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Васильєв			19.08		Н	53	9
Н. контр.	Васильєв			19.08		Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.		
Затв.	Орисенко			20.08				



1 – завантажувальний бункер; 2 – мотор-редуктор; 3 – клиноремінна передача; 4 – колінчатий вал; 5 – шатун компенсаційного поршня; 6 – тяга компенсаційного поршня; 7 – шатун робочого поршня; 8 – тяга робочого поршня; 9 – шток робочого поршня; 10 – шток компенсаційного поршня; 11 – шарнірно-упорні під'ятники робітника й компенсаційного поршнів; 12, 12' – відповідно робітник і компенсаційний поршні; 13, 13' – відповідно циліндри робітника й компенсаційного поршнів; 14 – корпус колонки розчинобетонасоса; 15 – вихідний патрубок; 16 – компенсаційна камера розчинобетонасоса; 17 – підпружинений тарілчастий нагнітальний клапан; 18 – підпружинений тарілчастий всмоктувальний клапан; 19 – робоча камера розчинобетонасоса

Рисунок 4.1 – Принципова схема двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами й тарілчастими клапанами

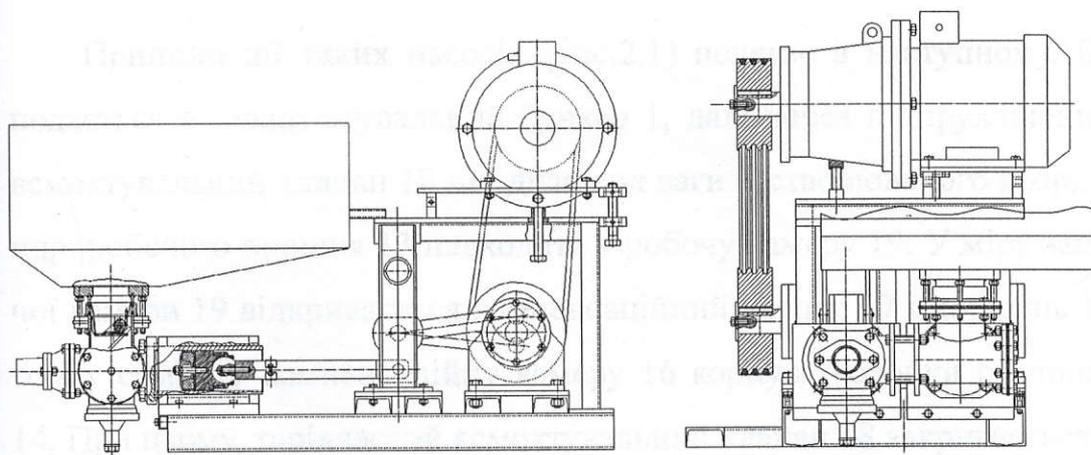


Рисунок 4.2 – Конструктивні схеми двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами й тарілчастими клапанами

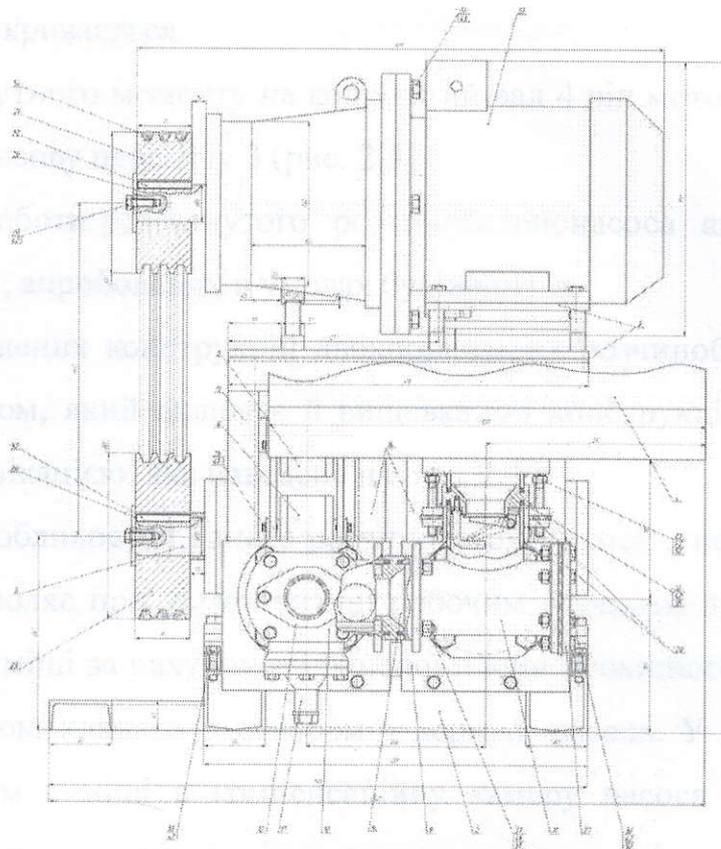


Рисунок 4.3 – Конструктивна схема двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами, прямоточним завантаженням суміші через усмоктувальний тарілчастий клапан при нагнітальному кульовому клапані

Принцип дії таких насосів (рис.2.1) полягає в наступному. Бетонна суміш подається в завантажувальний бункер 1, далі через підпружинений тарілчастий всмоктувальний клапан 18 під дією сил ваги й створюваного розрідження в циліндрі робочого поршня 13 надходить у робочу камеру 19. У міру заповнення робочої камери 19 відкривається компенсаційний клапан 17 і поршень 12 витісняє бетонну суміш у компенсаційну камеру 16 корпусу колонки розчинобетонасоса 14. При цьому, тарілчастий всмоктувальний клапан 18 закривається.

При подачі бетонної суміші в компенсаційну камеру 16, її частина надходить у бетоновод 15, а частина заповнює циліндр 13'. При русі компенсаційного поршня 12' у режимі нагнітання, бетонна суміш витісняється в бетоновод, а тарілча-

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

Лист

55

стий клапан 17 закривається.

Передача крутного моменту на колінчатий вал 4 від мотор-редуктора 2 здійснюється через пасову передачу 3 (рис. 2.3).

Принцип роботи розглянутого розчинобетонасоса аналогічний попередній групі машин, апробованих в умовах будівництва.

Ряд розроблених конструкцій двохпоршневих розчинобетонасосів з механічним приводом, який включає й вищевказані конструкції, може бути представлений класифікацією, яка наведена на рис. 2.4.

Однієї з особливостей даного розчинобетонасоса є перехід на тарілчасті клапани, що дозволяє при усмоктуванні робочим поршнем пропускати більший обсяг бетонної суміші за рахунок збільшеної площі прохідного перетину, утвореного між підставою клапана й отвором у корпусі насоса. У процесі нагнітання робочим поршнем суміші в компенсаційну камеру насоса створюваний тиск впливає на нижню поверхню тарілчастого клапана, що цілком ймовірно, приводить до його швидкого закриття й зниженню можливості появи протитечій бетонної суміші в прийомний бункер.

Таким чином, можна припустити, що новий конструктивний розв'язок клапанних вузлів насоса дозволить виключити недоліки попередньої групи машин, які проявляються в ряді випадків при роботі насосів на малорухомих сумішах: зависання клапанів і поява протитечій бетонної суміші.

Другою особливістю нового розчинобетонасоса є наявність шарнірно – упорних підп'ятників робітника й компенсаційного поршнів на штоках (рис. 2.2). Така конструкція дозволяє при русі поршнів у гільзах зменшити зношування ущільнювальних манжет, а також знизити ефект погойдування поршнів.

Технічна характеристика двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами, прямоточним завантаженням і тарілчастими клапанами представлено в таблиці 4.1.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами

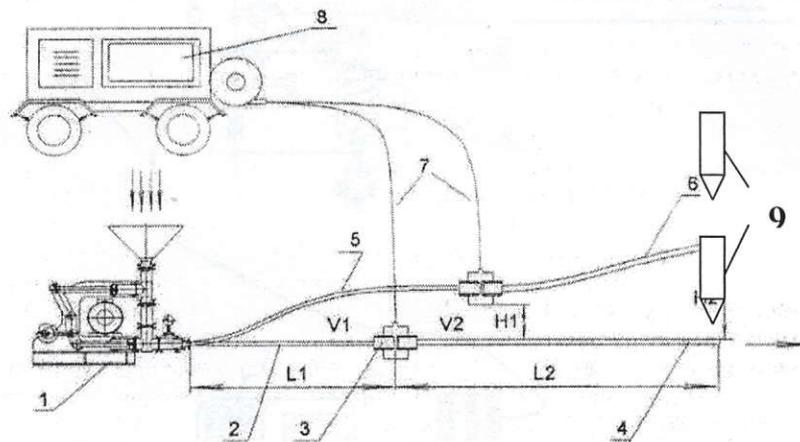
Продуктивність, м ³ /год	4-4.5
Граничний робочий тиск, МПа	3.8 – 4.0
Частота руху поршнів, хв ⁻¹	58
Дальність подачі, м:	
по горизонталі	200
по вертикалі	70
Потужність електродвигуна, кВт	7.5
Габаритні розміри, м:	
довжина	1480
ширина	810
висота	930
Маса (без шлангів), кг	500

4.2 Технологічні схеми проведення робіт з використанням двохпоршневого розчинобетонасоса

Для двохпоршневого розчинобетонасосів, наведений ряд технологічних схем, у складі яких вони були використані при відбудовних і ремонтних роботах діючих будинків і споруд.

Технологічна схема виробництва торкрет-робіт при використанні прямоного розчинобетонасоса й сопла з кільцевою насадкою представлена на рис. 4.4.

надлишкової вільної води в області спеціального екрана, одержувати на виході із трубопроводу суміш зниженої рухливості на відстані L_2 , H_2 .



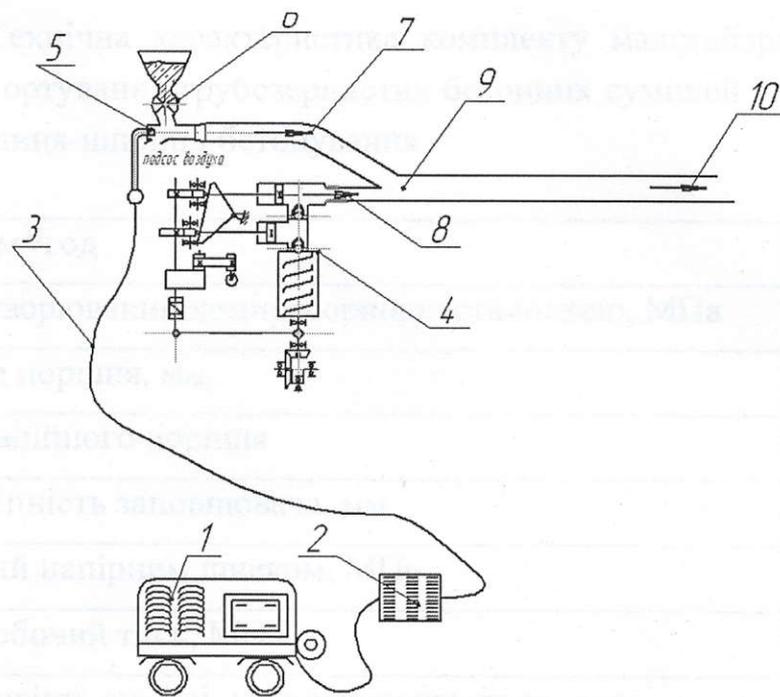
1 – двохпоршневий прямоточний розчинобетононасос; 2 – магістраль подачі бетонної суміші від насоса до камери змішання довжиною L_1 ; 3 – камера змішання потоку бетонної суміші зі стисненим повітрям; 4 – магістраль подачі бетонній-повітряно-бетонної суміші після камери змішання довжиною L_2 ; 5 – магістраль подачі бетонної суміші до камери змішання на висоту H_1 ; 6 – магістраль подачі бетонній-повітряно-бетонної суміші після камери змішання на висоту H_2 ; 7 – повітряний шланг; 8 – пересувна компресорна установка; 9 – гасник

Рисунок 4.5 – Технологічна схема композиційного транспортування будівельної суміші

Проблема транспортування грубозернистих бетонних сумішей в умовах будівельного майданчика стає особливо актуальною, якщо для цих цілей використовувати малогабаритне устаткування з розчинобетононасосами.

У процесі проведення будівельних, ремонтно-відбудовчих робіт часто виникає необхідність у подачі й укладанню грубозернистої бетонної суміші (із фракцією до 20 мм.) невеликих обсягів у важкодоступні місця.

Пропонується використовувати в складі малогабаритного обладнання торкрет-устаткування пневмоустановку, оснащену комірковим дозатором-живильником, яка дозволяє ввести в дрібнозернисту бетонну суміш великий заповнювач фракцій 10-20 мм. (рис. 4.6).



1 – компресор; 2 – повітряний фільтр; 3 – повітропровід;
 4 – растворобетононасос; 5 – ежектор; 6 – комірковий живильник;
 7 – магістраль подачі великого заповнювача (щебенів); 8 – магістраль подачі дрібнозернистої бетонної суміші; 9 – камера змішання бетонної суміші й великого заповнювача; 10 – магістраль транспортування грубозернистої бетонної суміші

Рисунок 4.6 – Технологічна схема транспортування грубозернистої бетонної суміші при використанні двохпоршневого розчинобетононасоса

При використанні малогабаритного устаткування для виконання робіт зі шприць-бетонування в технологічній схемі (рис 4.6) на виході суміші із трубопроводу (поз. 10) установлюється сопло з кільцевою насадкою, призначене для роботи на грубозернистих бетонних сумішах. Технічна характеристика комплексу малогабаритного встаткування для транспортування грубозернистих бетонних сумішей і виконання бетонування-бетонування-шприць-бетонування представлена в табл. 4.2.

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ		Лист
							60
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика комплексу малогабаритного встаткування для транспортування грубозернистих бетонних сумішей і виконання бетонування-бетонування-шприць-бетонування

Продуктивність, м ³ /год	4
Робочий тиск, створюваний компресорною установкою, МПа	0,8
Діаметр робочого поршня, мм	90
Діаметр компенсаційного поршня	90
Максимальна крупність заповнювача, мм	20
Тиск, створюваний напірним шнеком, МПа	1,5
Максимальний робочий тиск, МПа	2...3
Мінімальна рухливість суміші, що транспортується, див	4
Діаметр гумовотканинних шлангів, мм	50
Потужність двигуна, кВт	5,5
Маса, кг	400
Пневмо-Устаткування:	
Діаметр ежектора, мм	15
Діаметр камери змішання, мм	68
Діаметр транспортного трубопроводу, мм	76
Кут нахилу напрямного ринви, гради	45
Потужність двигуна живильника, кВт	1,2
Гранична дальність подачі, м:	
по горизонталі, м	80
по вертикалі, м	30

GMM.602-MMв.037-00.00.000 ПЗ

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		61

ВИСНОВКИ

В данній магістерській роботі було зроблено:

- 1 Проведено аналіз діючого обладнання для транспортування бетонних сумішей, виконання робіт способом мокрого торкретування і шприц-бетонування.
- 2 Розроблено принципову схему двопоршневого розчинобетонасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів для роботи на бетонних сумішах різного призначення.
- 3 Отримано залежності для визначення продуктивності розчинобетонасоса з тарілчастими клапанами залежно від різних факторів.
- 4 Визначено діапазони раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетонасосу та технологічні параметри робочих процесів.
- 5 Описано принцип роботи та галузь використання двопоршневого розчинобетонасосу.

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ

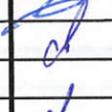
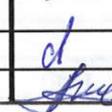
Вид	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Літ.	Лист	Листів
Разроб.	Полулях		<i>[Signature]</i>	19.08			
Перев.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	19.08			
Н. контр.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	19.08			
Затв.	Орисенко		<i>[Signature]</i>	20.08			

ВИСНОВКИ

Національний університет
імені Юрія Кондратюка,
ННІТР, 2024 р.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Будівельна техніка: підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. / О.Г. Онищенко, В.О. Онищенко, С.Л. Литвиненко, Б.О. Коробко / За ред. В.О. Онищенка та С.Л. Литвиненка. - К. : Кондор-Видавництво, 2017. – 424 с.
- 2 ДСТУ Б В.2.7-137:2008 Будівельні матеріали.
- 3 [http:// www. putzmeister. ua /catalog/39/40/m740dh/](http://www.putzmeister.ua/catalog/39/40/m740dh/)
- 4 [http:// www. putzmeister. ua /catalog/39/40/m760dh/](http://www.putzmeister.ua/catalog/39/40/m760dh/)
- 5 [http:// www. stroy-fasad. ua /catalog/ rastvoronasos.php](http://www.stroy-fasad.ua/catalog/rastvoronasos.php)
- 6 [http://mashkomplekt. com /catalogue/popump-rf/](http://mashkomplekt.com/catalogue/popump-rf/)
- 7 [http:// www. mpssm. ua /fmtec 11ssb 02.php](http://www.mpssm.ua/fmtec11ssb02.php)
- 8 [http:// nalimpex. ua /oborudovanie/ building/ torkret/ 150-aliva-263](http://nalimpex.ua/oborudovanie/building/torkret/150-aliva-263)
- 9 Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
- 10 Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.
- 11 Онищенко О.Г. Будівельна техніка: Навч. посібник. — Полтава: ПДТУ, 2000. - 207с.
- 12 Сукач М.К. Будівельні машини і обладнання: підручник. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 390 с.
- 13 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.

ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Полулях			19.08		Н		63
Перев.	Васильєв			19.08				
Н. контр.	Васильєв			19.08				
Затв.	Орисенко			20.08				
						Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2024 р.		

ня» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Ю. Щербина, В. І. Сівецький, О.В. Гондляр; – Електронні текстові дані (1 файл: 18,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с.

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

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

27 Взаємозамінність, стандартизація, технічні вимірювання та сертифікація транспорт-них засобів / В.В. Малишев, В.А. Косенко, С.В. Кадомський . - К.: Університет "Україна", 2017. - 292 с.

28 Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань / А.О. Железна, В.А. Кирилович . - К.: Кондор, 2009. - 796 с.

29 Деталі машин: Навчальний посібник/Мерхель І.І.–К.:Альтера, 2005.–368с.

30 Власенко М. В. Технологія ремонту будівельних та дорожніх машин. – К.–Кіровоград, 2000. – 288 с.

31 Онищенко О. Г., Васильев А. В., Коробко Б. О. Визначення реологічних характеристик розчинів, перекачуваних розчинонасосами // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / ПДТУ. – Вип. 6. – Полтава: ПДТУ, 2000. – С. 6-11.

32 [http://budmash.ua/oborudovanie dlja transportirovki rastvora/](http://budmash.ua/oborudovanie_dlja_transportirovki_rastvora/)

33 [http:// www. crantal. ua/ rnp. php/](http://www.crantal.ua/rnp.php/).

34 <http://masterstroy.net/flotti.php>

35 <https://probud.in.ua/tehnologiya-virobnitstva-pinobetonu-retsept-otrimannya-yakisnogo-produktu.html>

36 <http://penoblok.com.ua/catalog/smesiteli-do-500-l/>

37 <https://uk.blog-oremonte.ua/budivnitstvo/pinobetonozmishuvach-turbulentnii-pristrii-dlia-zmishuvannia.html>

38 <https://www.ibeton.ua/product/smesiteli-penobetona/kavitatsionnye/>

39 <http://ntb.org.ua/ntb/machinery/building/pbeton/sb350/>

					ГММ.602-ММв.037-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		65

**Дослідження робочих процесів
двохпоршневого розчинобетонасоса з
горизонтально розташованими
циліндрами**

Презентаційні матеріали

ГММ.602-ММв.037-00.00.000ПМ

Дослідження робочих процесів двохпоршневого розчинобетонасоса з горизонтально розташованими циліндрами

Кваліфікаційна робота магістра

Розробив студент групи 602-ММВ
Є.М. Полулях

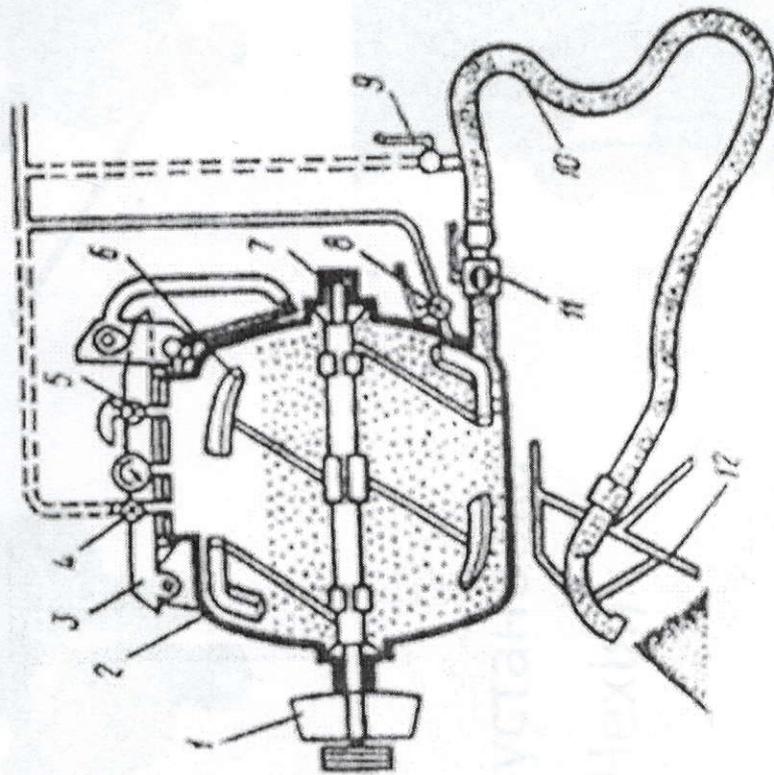
Керівник к.т.н., доц.
О.С. Васильєв

• **Мета досліджень.** Дослідження характеристик розчинобетоннасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів і виявлення умов стабільної подачі бетонної суміші по трубопроводу з урахуванням її властивостей, які є характерними для в'язкопластичного середовища.

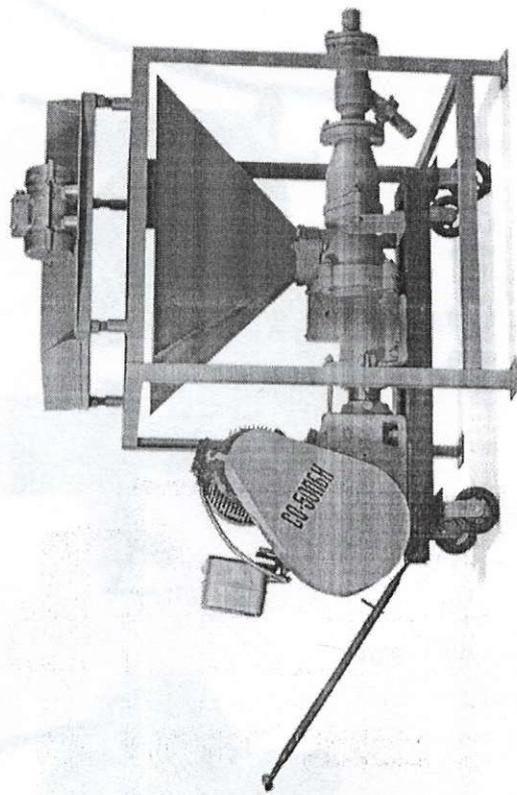
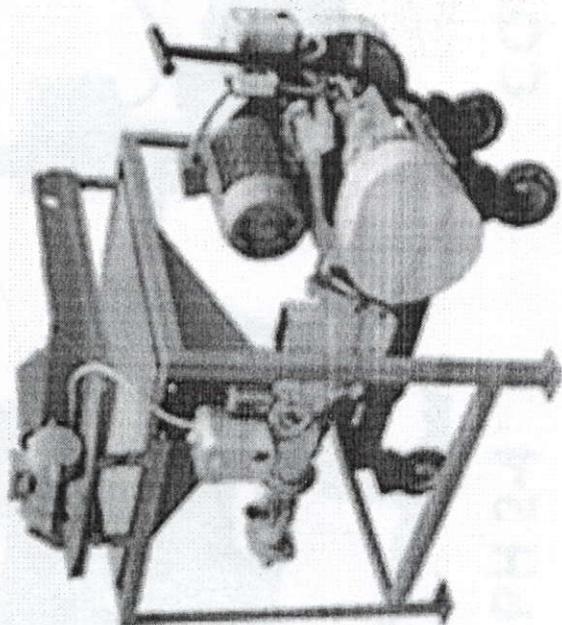
- **Завдання досліджень.**
- Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:
 - провести аналіз діючого обладнання для транспортування бетонних сумішей, виконання робіт способом мокрого торкретування і шприц-бетонування;
 - розробити принципіву схему двопоршневого розчинобетоннасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів для роботи на бетонних сумішах різного призначення;
 - знайти залежності для визначення продуктивності розчинобетоннасоса з тарілчастими клапанами залежно від різних факторів;
 - визначити діапазони раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетоннасосу та технологічні параметри робочих процесів ;
 - описати принцип роботи та галузь використання двопоршневого розчинобетоннасосу.
- **Об'єкт дослідження.** Процеси транспортування бетонних сумішей різного призначення по трубопроводах та виконання торкрет-робіт мокрим способом.
- **Предмет дослідження.** Двопоршневий розчинобетоннасос з горизонтальним розташуванням циліндрів і тарілчастими клапанами.

розчинів і бетонних сумішей

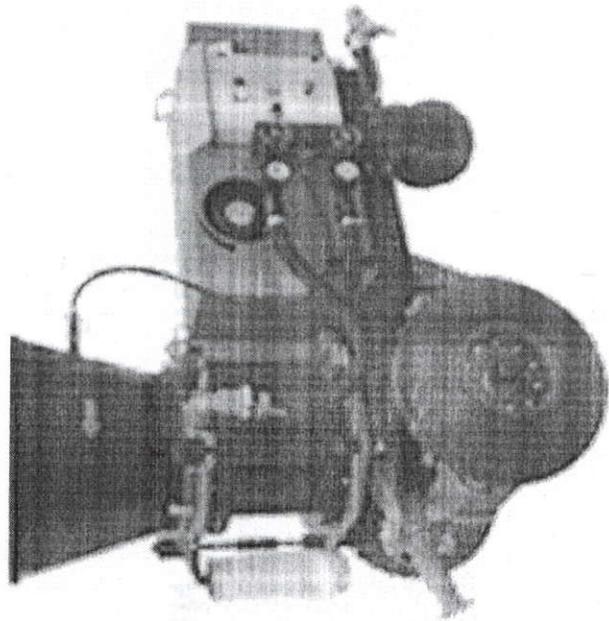
- 1 – привод; 2 – бак; 3 – кришка; 4, 8, 9, 11 – крани;
5 – запобіжний кран; 6 – лопатки;
7 – вал; 10 – трубопровід; 12 – гаситель

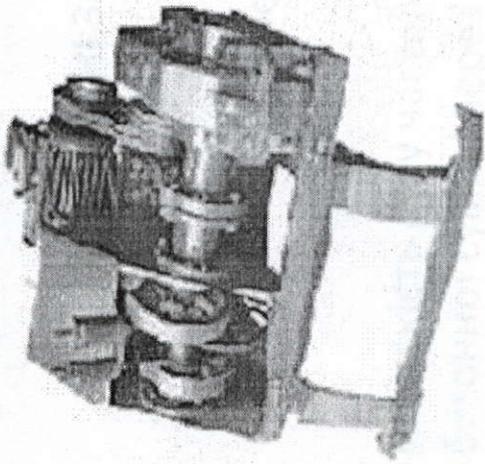


Торкрет-установка СО-50, ПБН

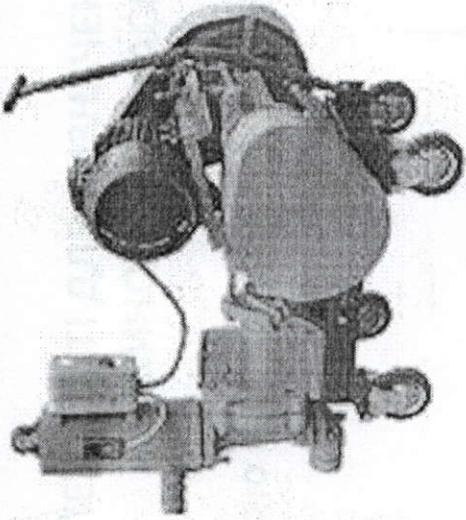


Торкрет-установка
SSB 02 (Чехия)

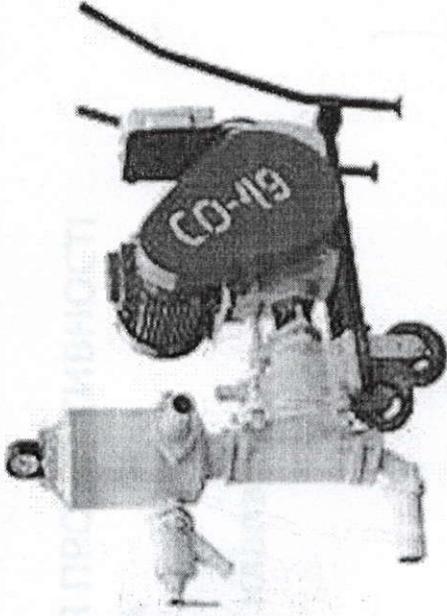




PH 2-4



CO-50A



CO-49

Поршневі противоточні розчинонасоси

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА

Залежно від пропускної здатності клапанів

Швидкість руху часток
бетонної суміші через
щілину між сідлом
клапанного вузла й
піднятим клапаном

$$g_1 = \frac{\Delta p}{4\mu L} \left\{ R_2^2 - r^2 + \frac{(R_2^2 - R_1^2)}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R_2}\right) \right\}$$

Продуктивність
розчинобетононасоса

$$Q_{\text{техн}} = \frac{\pi \Delta p}{8\mu L} \left\{ R_2^4 - R_1^4 - \frac{(R_2^2 - R_1^2)^2}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} \right\}$$

У залежності від властивостей бетонної суміші, що транспортується по трубопроводу

$$r_{я} < r < R \quad g = \frac{\Delta p}{4L_{mp} \cdot \mu} (R_{mp}^2 - r_1^2) - \frac{\tau_0}{\mu} (R_{mp} - r),$$

при

$$0 < r_1 < r_{я} \quad g = \frac{\Delta p}{4L \cdot \mu} (R_{mp}^2 - r_{я}^2),$$

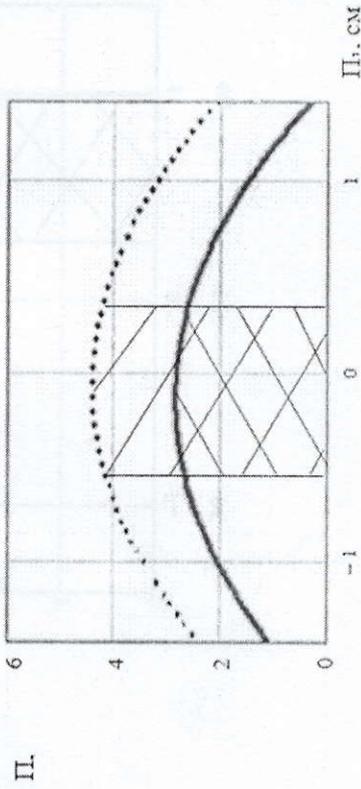
$$II_{техн} = Q_c = \frac{\pi R_{mp}^4 \Delta p}{8\mu L_{mp}} \left[1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{2L_{mp} \tau_0}{\Delta p \cdot R} + \frac{1}{3} \left(\frac{2L_{mp} \tau_0}{\Delta p \cdot R_{mp}} \right)^4 \right]$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДВОПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОБЕТОНОНАСОСА

Визначення меж раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетононасоса й технологічних параметрів робочого процесу

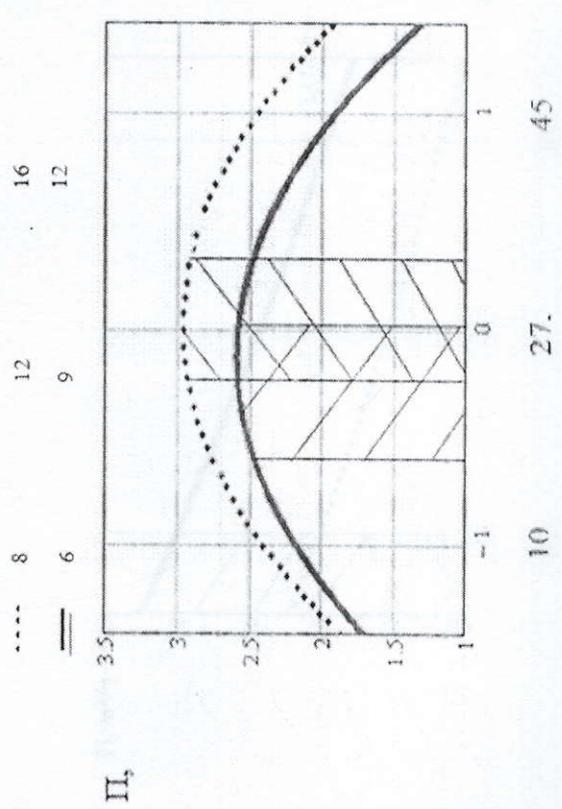
Кодове значення фактора	Рухливість бетонної суміші	Кут відкриття клапана	Частота обертання колін. вала	Витрата щебенів, кг
	$\Pi_1, \text{ см (X1')}$ $\Pi_1, \text{ см (X1'')}$	$\alpha, \text{ град. (X2)}$	$n, \text{ хв}^{-1} \text{ (X3)}$	$z, \text{ кг (X4)}$
X^0_j	9/12	27,5	55	600
Dx_j	3/4	17,5	25	200
1	12/16	45	80	800
-1	6/8	10	30	400
1,414	13.24/17,66	52,25	90,35	882,8
-1,414	4.76/6,34	2,76	19,65	317,2

$$\begin{aligned}
 Y_{\Pi} = & 2.572 - 0.139x_1 - 0.136x_2 + 0.421x_3 - 0.206x_4 + 0.538x_{12} - 0.533x_2^2 - 0.18x_3^2 + \\
 & + 0.015x_4^2 - 0.054x_1x_2 + 0.073x_1x_3 - 0.094x_1x_4 - 0.058x_2x_3 - 0.049x_2x_4 + \\
 & + 0.103x_3x_4
 \end{aligned}$$



Залежність продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами (Π, м³/год) від кута розкриття всмоктувального клапана (α, град.)

$x_2=45$
 $x_3=80$
 $x_4=800$



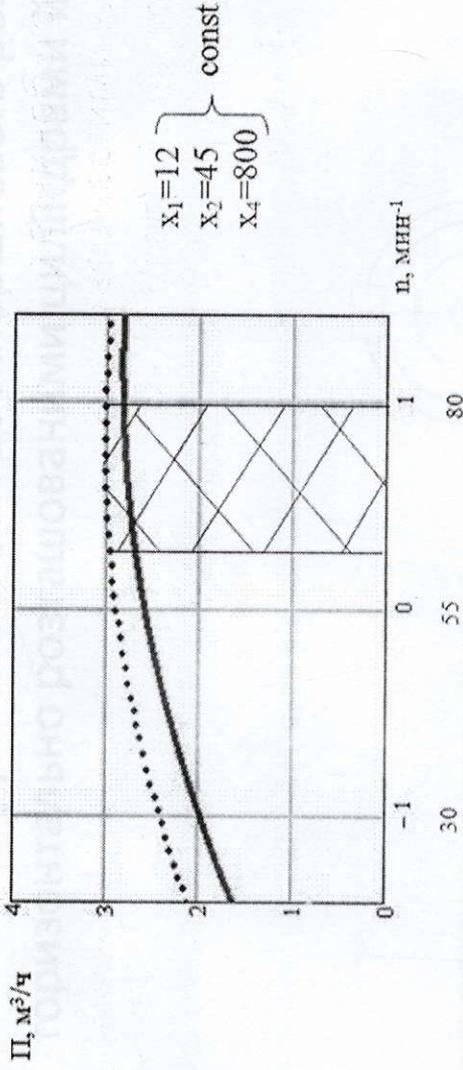
Залежність продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами (Π, м³/год) від кута розкриття всмоктувального клапана (α, град.)

$x_1=12$
 $x_3=80$
 $x_4=800$

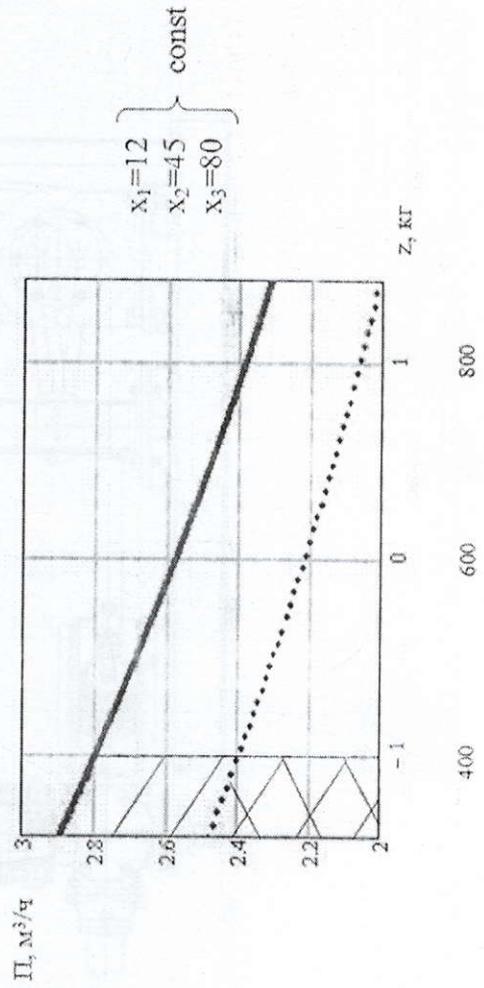
... - Полыжная смесь

— - Малопопыжная

Залежність продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами (П, м³/год) від частоти обертання колінчатого вала (n, хв⁻¹)

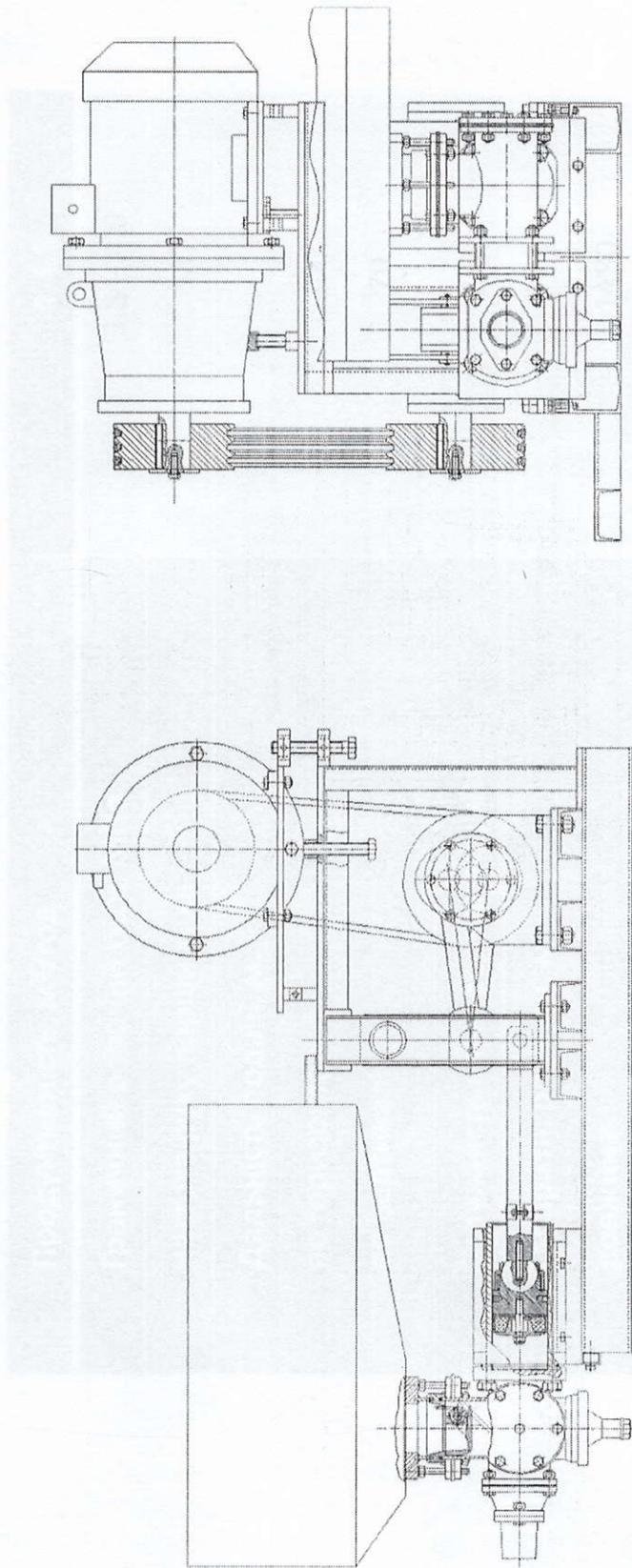


Залежність продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами (П, м³/год) від змісту щебеню (z, гради)



Конструктивні схеми двохпоршневого розчинобетононасоса з горизонтально розташованими циліндрами й тарілчастими клапанами

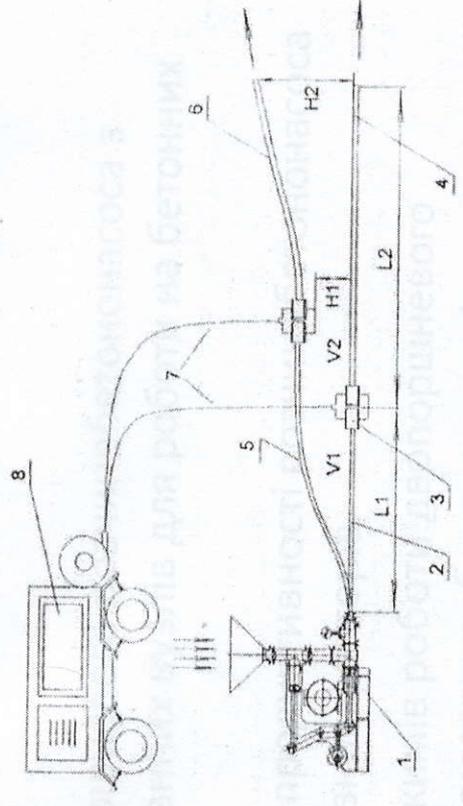
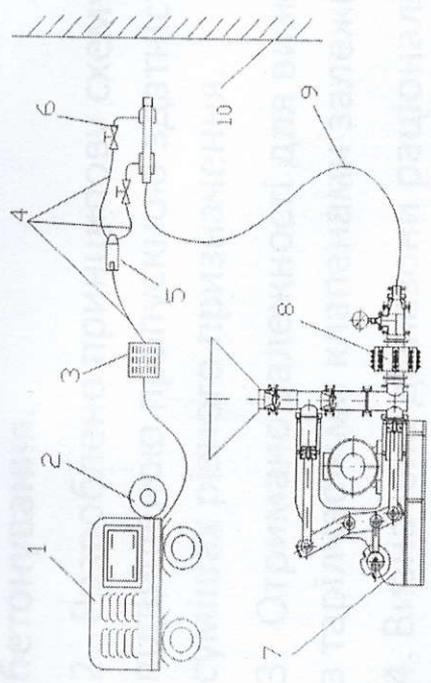
циліндрами



Технічна характеристика двохпоршневого
розчинобетонасоса з горизонтально розташованими
циліндрами

Продуктивність, м ³ /год	4-4.5
Граничний робочий тиск, МПа	3.8 – 4.0
Частота руху поршнів, хв ⁻¹	58
Дальність подачі, м: по горизонталі	200
по вертикалі	70
Потужність електродвигуна, кВт	7.5
Габаритні розміри, м: довжина	1480
ширина	810
висота	930
Маса (без шлангів), кг	500

Технологічні схеми проведення робіт з використанням двохпоршневого розчинобетонасоса



Технологічна схема композіційного транспортування будівельної суміші

- Технологічна схема виробництва торкрет-робіт мокрим способом при використанні прямоточного розчинобетонасоса й сопла з кільцевою насадкою

Висновки

- 1. Проведено аналіз діючого обладнання для транспортування бетонних сумішей, виконання робіт способом мокрого торкретування і шприц-бетонування.
- 2. Розроблено принципову схему двопоршневого розчинобетононасоса з підвищеною пропускною здатністю клапанних вузлів для роботи на бетонних сумішах різного призначення.
- 3. Отримано залежності для визначення продуктивності розчинобетононасоса з тарілчастими клапанами залежно від різних факторів.
- 4. Визначено діапазони раціональних режимів роботи двопоршневого розчинобетононасосу та технологічні параметри робочих процесів.
- 5. Описано принцип роботи та галузь використання двопоршневого розчинобетононасосу.

- Дякую за увагу.