

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ імені Ю.М. Потебні**  
**Кафедра промислового і цивільного будівництва**

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: «Вібраційна технологія влаштування підливи бетонної суміші  
під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1920-пцбі

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна  
інженерія»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Промислове та цивільне  
будівництво»

(код і назва освітньої  
програми)

Беналді Мохамед

(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та  
ініціали)

Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та  
ініціали)

м. Запоріжжя – 2021 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
імені Ю.М. Потебні

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Промислового та цивільного будівництва \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий магістерський \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 192 «Будівництво та цивільна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ «Промислове і цивільне будівництво» \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ПЦБ  
проф. Арутюнян І.А.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

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

Беннаді Мохамеду  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Вібраційна технологія влаштування підливи бетонної суміші під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу

керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року №974-ц

1 Строк подання студентом роботи 03.12.2021 р.


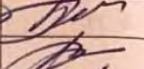

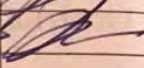
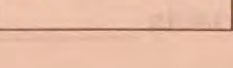
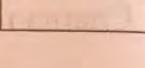
2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень з влаштування підливки під обладнання. Дослідити вібраційну технологію. Виконати експериментальне дослідження методом додаткового вібрування

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних

обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

### 5 Консультанти розділів роботи

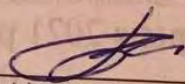
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		

6 Дата видачі завдання 01.10.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Аналіз існуючих способів виробництва бетонної підливки під обладнання	28 жовтня	
2	Розділ 2 Дослідження вібраційної технології бетонної підливки під промислове обладнання	16 листопад	
3	Розділ 3 Експериментальне дослідження способу підливки бетонної суміші під технологічне обладнання методом додаткового вібрування	2 грудня	

Студент

  
(підпис)

Беннаді Мохамед  
(ініціали та прізвище)

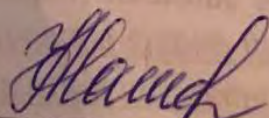
Керівник роботи

  
(підпис)

Р.В. Самченко  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

  
(підпис)

Н.О. Данкевич  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Бенадді Мохамед. Вібраційна технологія влаштування підливи бетонної суміші під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Р.В. Самченко. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. Кафедра промислового та цивільного будівництва, 2021

Визначено закономірності впливу амплітуди і частоти коливань додаткового віброоргану, а також кроку установки його поздовжніх стрижнів у порожнині, що заповнюється, на швидкість просування бетонної суміші в зазорі, однорідність і міцність одержуваного бетону підливи по всьому обсягу підливального простору. Експериментально підтверджено раціональні технологічні параметри режимів укладання бетонних сумішей при влаштуванні монтажних підливок під обладнання з використанням комбінованого вібраційної дії, що забезпечує гарантоване заповнення бетонною сумішшю всього обсягу підливного простору і дозволяють знизити трудомісткість робіт на 52%, збільшити продуктивність робіт на 48% при досягненні необхідних показників за міцністю бетону підливи.

Ключові слова: ВІБРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, БЕТОН, ПІДЛИВАННЯ, ПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ.

Список публікацій магістранта:

Бенадді Мохамед, Самченко Р.В. Вібраційна технологія влаштування підливи бетонної суміші під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу. Матеріали I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науковотехнічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (19-21 жовтня 2021 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2021. С. 355-356.

## АННОТАЦИЯ

Бенадди Мохаммед. Вибрационная технология устройства подливки бетонной смеси под промышленное оборудование на заключительном этапе его монтажа.

Квалификационная выпускная работа по получению степени высшего образования магистра по специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель Р.В. Самченко. Инженерный учебно-научный институт имени Ю.М. Потемни Запорожского национального университета. Кафедра промышленного и гражданского строительства, 2021

Определены закономерности воздействия амплитуды и частоты колебаний дополнительного виброоргана, а также шага установки его продольных стержней в заполняемой полости на скорость продвижения бетонной смеси в зазоре, однородность и прочность получаемого бетона подливки по всему объему подливочного пространства. Экспериментально подтверждены рациональные технологические параметры режимов укладки бетонных смесей при устройстве монтажных подливок под оборудование с использованием комбинированного вибрационного действия, что обеспечивает гарантированное заполнение бетонной смесью всего объема подливочного пространства и позволяют снизить трудоемкость работ на 52%, увеличить производительность работ по прочности бетона подливки.

Ключевые слова: ВИБРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, БЕТОН, ПОДЛИВКА, ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

Список публикаций магистранта:

Бенади Мохамед, Самченко Р.В. Вибрационная технология устройства подливки бетонной смеси под промышленное оборудование на заключительном этапе его монтажа. Материалы I Всеукраинской научно-практической конференции соискателей высшего образования, аспирантов и молодых ученых «Актуальные вопросы устойчивого научно-технического и социально-экономического развития регионов Украины» (19-21 октября 2021, г. Запорожье). Запорожье: ИУНИ ЗНУ, 2021. С. 355-356.

## ANNOTATION

Benaddi Mohammed. Vibration technology of concrete mixture filling under industrial equipment at the final stage of its installation.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, supervisor RV Samchenko. Yu.M. Need Zaporizhia National University. Department of Industrial and Civil Engineering, 2021

Regularities of influence of amplitude and frequency of oscillations of additional vibrating body, and also a step of installation of its longitudinal cores in the filled cavity on speed of advance of concrete mix in a backlash, homogeneity and durability of the received concrete of pressure on all volume of pouring space are defined. Experimentally confirmed rational technological parameters of laying concrete mixtures when installing screeds for equipment using combined vibration, which ensures guaranteed filling of the concrete mixture of the entire volume of the pouring space and reduce labor intensity by 52%, increase productivity by 48%. for the strength of concrete gravy.

Key words: VIBRATION TECHNOLOGY, CONCRETE, INFLATION, INDUSTRIAL EQUIPMENT.

List of undergraduate publications:

Benaddi Mohamed, Samchenko RV Vibration technology of concrete mixture filling under industrial equipment at the final stage of its installation. Proceedings of the I All-Ukrainian scientific-practical conference of higher education seekers, graduate students and young scientists "Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine" (October 19-21, 2021, Zaporozhye). Zaporozhye: INNI ZNU, 2021. P. 355-356.

## **ЗМІСТ:**

<b>ВСТУП</b>	<b>8</b>
<b>1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА БЕТОННОЇ ПІДЛИВКИ ПІД ОБЛАДНАННЯ</b>	<b>10</b>
1.1 Існуючі типи стикових з'єднань «обладнання – фундамент»	10
1.2 Вимоги до бетонних сумішей, які застосовуються для влаштування підливки під технологічне обладнання	41
1.3 Влаштування бетонної підливи під великогабаритне промислове обладнання способом зачеканювання	52
1.4 Технологія пристрою бетонної підливи під обладнання способом вібраційної дії	57
<b>2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОННОЇ ПІДЛИВКИ ПІД ПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ</b>	<b>65</b>
2.1 Організація та методика проведення експерименту з влаштування підливання під промислове великогабаритне обладнання	65
2.2 Обґрунтування вибору пристрою підливки під обладнання методом безперервного, додаткового вібраційного впливу	70
2.3 Фізико-математична модель процесів, що відбуваються з матеріалом підливного складу	75
<b>3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПІДЛИВКИ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПІД ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ МЕТОДОМ ДОДАТКОВОГО ВІБРУВАННЯ</b>	<b>83</b>
3.1. Основні види приладів та матеріалів застосовуваних у процесі проведення експериментів	83
3.2 Влаштування експериментального обладнання	98
3.3 Методика проведення експериментів	105
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>116</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>117</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пріоритетним напрямком технічного прогресу у промисловості є вдосконалення технологічних процесів, заміна морально та фізично застарілого обладнання.

Одним із актуальних питань при монтажі обладнання є завдання заповнення бетонною сумішшю технологічної порожнини, утвореної станиною обладнання та верхом фундаменту. Вирішення цієї задачі досягається за допомогою різних технологічних прийомів - трамбування, штикування, вібрування. Два перші прийоми можна віднести до способу механічного зачеканювання. Вібраційний спосіб укладання бетонної суміші підливки більш прогресивний і полягає у пристрої лотка - накопичувача з встановленим у ньому вібратором, який надає кругові вібраційні впливи на бетонну суміш підливного складу, розріджуючи її і, таким чином, вона під дією гідростатичного тиску затікає в технологічний зазор. Недоліком перерахованих способів є низька продуктивність, пов'язана з великою трудомісткістю виконуваних операцій, а також з обмеженнями геометричних розмірів порожнин, що заповнюються під обладнанням.

**Метою дослідження** є наукове обґрунтування положень, спрямованих на вдосконалення та апробування технологічних рішень процесів укладання підливальної бетонної суміші під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу на основі нової, запропонованої під час досліджень, технології.

**Об'єкт дослідження** - є технологія влаштування підливки під обладнання при комбінованому вібраційному впливі на бетонну суміш підливного складу.

**Предмет дослідження** - параметри технологічних процесів влаштування бетонної підливи під промислове обладнання на заключному етапі його монтажу із застосуванням двоетапного вібрування бетонної суміші, спочатку в лотку - накопичувачі і потім, безпосередньо у просторі між станиною обладнання та фундаментом.



**Методи дослідження:** включали узагальнення і аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду ремонту будівель, сучасного стану теорії і практики влаштування бетонної підливи, аналіз технологічних, теоретичних досліджень та аналіз отриманих результатів.

**Наукова новизна роботи:**

- визначено закономірності впливу амплітуди і частоти коливань додаткового віброоргану, а також кроку установки його поздовжніх стрижнів у порожнині, що заповнюється, на швидкість просування бетонної суміші в зазорі, однорідність і міцність одержуваного бетону підливи по всьому обсягу підливального простору.

- експериментально підтверджено раціональні технологічні параметри режимів укладання бетонних сумішей при влаштуванні монтажних підливок під обладнання з використанням комбінованого вібраційної дії, що забезпечує гарантоване заповнення бетонною сумішшю всього обсягу підливного простору і дозволяють знизити трудомісткість робіт на 52%, збільшити продуктивність робіт на 48% при досягненні необхідних показників за міцністю бетону підливи.

**Апробація роботи.** Основні положення роботи опубліковані на I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науковотехнічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» у секції «Промислове та цивільне будівництво» (2021, м. Запоріжжя).

**Структура роботи.** Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 121 сторінка. Включає 50 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел з 65 пунктів.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА БЕТОННОЇ ПІДЛИВКИ ПІД ОБЛАДНАННЯ

## 1.1 Існуючі типи стикових з'єднань «обладнання – фундамент»

Термін «торкретування» утворений як словосполучення з двох латинських слів: «tectorium» ((tec) tor (ium) - штукатурка) і «concretus» ((con) cret (us) - ущільнений) [93]. Принцип «методу торкретування полягає в нанесенні дрібнозернистої бетонної суміші через сопло, до якого по матеріалопроводи подаються компоненти бетонної суміші, і вони під дією стисненого повітря накидаються на оброблювану поверхню. Максимальна крупність заповнювача для торкрет-бетону становить 8-10 мм. При більшій крупності, до 20 - 25 мм, матеріал, одержуваний таким способом, прийнято називати шприц-бетоном або набризк-бетоном.

Торкретування є складним виробничим процесом, що включає в себе перемішування, транспортування, укладання і ущільнення бетонної суміші, при цьому вибір оптимальної технології для кожного зі складових має великий вплив на кінцевий результат. Як показали попередні дослідження [15, 36, 37, 38, 58, 66] за технологією укладання бетонних сумішей, одним з найважливіших факторів, що визначають якість ущільнення, а, отже, і міцність готової конструкції, є збереження параметрів бетонної суміші, отриманих при її приготуванні, в процесі транспортування. З огляду на це велике значення в технології бетонних робіт мають питання транспортування будівельних сумішей по трубопроводах. В даний час накопичений великий виробничий досвід і науковий потенціал по транспортуванню сумішей.

У 1958 р пневмотранспорт для бетонної суміші був застосований при спорудженні дериваційного тунелю Алма-Атинській ГЕС №2 протяжністю 5800 м. Обсяг бетонування обробок тунелю за проектом склав 23 тис. М. Застосовувався бетон класу В12,5 з осадкою конуса 6 ... 8 см.

Трестом Магнітобуд в 1960 р була застосована пневмотранспортного установка для транспортування 6 тис. М бетонної суміші у фундаменти цеху

виливниць металургійного комбінату. Для цього був застосований пневмонагнетатель зі шнеком, що мають корисну місткість 750'Л.

На шахтах Кривбасу в 1981 р проводилася доставка і укладка бетонної суміші в опалубку за допомогою пневмоукладчика УБ-3 конструкції Гідро рудмаш, при етом'продуктивність праці збільшилася вдвічі.

У тресті Спецтоннельстрой Главленінградгражданстроя використовувалася пневмонагнетательная установка СМЛ-141 продуктивність 18 м<sup>3</sup>/ год.

Значного поширення набули пневмонагнетательные установки ПБ-1, виготовлені Мінським дослідно-механічним заводом «Будмаш». Установка ПБ-1 має місткість, нагнітача 1000 л, обладнана змішувачем. Вона дозволяє транспортувати жорстку бетонну суміш на висоту 30 м і по горизонталі на відстань 150 м.

Можайское експериментально-механічний підприємство ВО «Гідро спецстрой» Міненерго СРСР випускало пневмоукладаючі агрегати ап БУ-1, призначені для механізованого завантаження двох пневмонагнітачів і подачі бетонної суміші в заопалубочное простір при спорудженні облицювань тунелів продуктивністю 15 м<sup>3</sup> / год. Місткість приймального бункера агрегату АПБУ-1 дорівнює 2,5 м.

У вісімдесяті роки отримали застосування смесітельнонагнетательний агрегат «Пульсар-1000» і установки «Міксокрет» західнонімецької фірми «Путцмайстер». Ці агрегати і установки призначені для приготування бетонних сумішей і будівельних розчинів і транспортування їх по трубопроводах за допомогою стиснутого повітря до місця укладання. Агрегат «Пульсар-1000» випускався ВО «Будмаш» Мінбуду БССР продуктивністю 8 м<sup>3</sup>/ ч. Він має ємність місткістю 1000 л. Дальність транспортування суміші за допомогою агрегату «Пульсар - 1000» становить по горизонталі 150, а по вертикалі 40 м.

У Франції пневматичний транспорт бетонних сумішей і розчинів застосовується в різних, областях будівництва. За допомогою установки «Плас». продуктивністю \* 10 м<sup>3</sup> / ч було укладено 2,5 тис. м. бетонної смесш при: 'будівництві багатоповерхового будинку в Парижі.

У США пневмотранспортні установки зазвичай називають бетоноукладчиками, тому що вони служать для подачі бетонної суміші безпосередньо в опалубку. Пневмотранспортні установки застосовуються головним чином при будівництві залізничних і гідротехнічних тунелів ;, підземних колекторів, а також в гірській промисловості на будівництві: вугільних шахт, рудників і т.д. При будівництві гідротехнічного тунелю Моно Кратерс в районі Лос-Анджелеса, що має довжину 18 км, бетонування склепіння вироблялося безперервно протягом трьох \* змін по 8 год. Добова укладання бетонної суміші досягла 340 м<sup>3</sup>, тобто 90 м готового тунелю . Всього було уложено шрі допомоги бетоноукладчика близько 16 тис. м<sup>3</sup> бетонної суміші.

У Росії: бетононасоси, застосовувалися як в гідротехнічному; будівництві, так і при виконанні "будівельно-монтажних робіт в трестах Главкузбасстрой, Череповецкметаллургстрой, Кузнецкметаллургстрой і в? ряді інших .

Бетононасос СБ-95 застосовувався при будівництві фірми «Схід», де було подано 5200 м бетонної суміші: При реконструкції автозаводу ім. Ленінського комсомолу в 1975 т. Було подано і укладено суміші в 1,5 рази більше, ніж при застосуванні кранів в 1974р.

При сооружені- Кольської АЕС застосовувалися бетононасоси італійської фірми, «Вортінгтон», а на будівництві Курської АЕС бетононасоси фірми «Швінг» (ФРН). На Нововоронезької АЕС перекриття апаратного відділення бетонувати за допомогою бетононасоса \ VP74 фірми «Вортінгтон», з маніпулятором В-526. Аналогічна машина застосовувалася для бетонування сховища відходів на Чорнобильській АЕС, що дозволило скоротити трудовитрати на подачу і укладання 1 м бетонних сумішей в 4 рази.

Розвиток різних способів транспортування бетонних сумішей викликало необхідність активних наукових досліджень в цій області.

В області транспортування ^ сипучих матеріалів можна привести роботи чешского вченого Я.М. Урбана [120], М. П. Калінушкіна ^ [71] і багатьох інших.

Особливості транспортування розчинів досліджувалися в'роботах І.М. Ахвердова [25], який в лабораторних умовах вивчав рух цементного тесту і розчину при перекачуванні насосами і зробив висновок, що: для цементного тесту при незначних швидкостях зсуву справедливий 'закон Шведова-Бінгама;

рух цементно-песчаного розчину здійснюється таким чином, що \* спочатку долається опір структури тесту, що призводить до значного зменшення його зважують здатності. Зерна піску змішуються і сприймають чинне сдвигове зусилля, при цьому зрушення супроводжується обертанням зерен і їх перекочування. Отже, навіть при малих градієнтах швидкості розчин рухається турбулентному і обертіві зерна піску сприяють повного руйнування структури тесту.

С.Н. Алексєєв [14, 15], В.М. Васильєв [36, 37, 38] проводили дослідження з вивчення процесів руху бетонної суміші по трубопроводах. С.Н. Алексєєв прийшов до висновку, що бетонна суміш з осіданням конуса 4 - 8 см рухається без перемішування і взаємного переміщення \* шарів, тобто з постійною швидкістю в поперечному перерізі труби, за винятком дуже тонкого (1-2 мм) шару розчину, безпосередньо стикається з внутрішньою поверхнею труби. За С.Н. Алексєєву, пристенное тертя є тертям в'язкої рідини.

Н.П. Блещік [32] вивчав структурно-механічні властивості і реологію бетонних сумішей, розробив методичні вказівки з проектування складу бетонної суміші, що перекачується по трубопроводах.

В.Д. Коюшев [75] проводив дослідження з вивчення удобоперекачіваності бетонних сумішей по трубопроводах. А.С. Стаценко [112] вивчав: вимоги до бетонних сумішей з метою збереження заданого якості бетонних сумішей в процесі транспортування по трубопроводах; сумісність машин в технологічній системі «доставка бетонної суміші автотранспортними засобами - перекачування-укладка».

Г.А. Оленін [88] проводив дослідження з визначення фрикційних характеристик бетонних сумішей по їх складу і фізико-механічними властивостями вихідних матеріалів з метою визначення навантажень на опалубку і конструкції бетоноукладочної обладнання.

В.Н. Евстіфеева [54, 55, 56, 57] проведені комплексні дослідження з розробки науково-обгрунтованої технології трубопровідного транспорту бетонних сумішей і будівельних розчинів і розробив технологічні принципи машин і установок для трубопровідного транспортування будівельних сумішей, а також методи по визначенню їх основних параметрів.

За трубопровідного транспортування будівельних розчинів проводилися дослідження Г.Б. Івянським [65, 66, 67, 68, 69], в яких основним завданням було: висвітлити результати цих досліджень, зробити практичні висновки з них і показати на прикладі виробничого досвіду безумовну доцільність транспортування і нагнітання будівельних розчинів трубопроводами.

Теоретичні та експериментальні дослідження руху суцільним потоком розчинів і бетонних сумішей виконані в ЦНИИОМТП Г.Б. Івянським [55, 67], В.М. Евстіфеева [88, 89]. У дослідженнях В.Н. Евстіфеева встановлені вимоги, що пред'являються до перекачування будівельних сумішей по трубопроводах, визначені технологічні параметри бетонних сумішей і будівельних розчинів за допомогою критеріальних рівнянь, вивчені режими самих пневмотранспортних установок. Є.П. Парфьонов [90] розробив технічні вимоги до надійної роботи розчинонасосів.

Як впливає з розгляду джерел [7, 50, 86, 94, 96], існують два основні варіанти транспортування суміші по матеріалопроводам- до розпилювальні сопла і, відповідно, два методу торкретування [35] (рисунок 1.1):

- транспортування сухої суміші, тобто сухий торкрет-бетон з сухої вихідної сумішшю;
- транспортування готового розчину, тобто мокрий торкрет-бетон з вологою вихідної сумішшю.

При сухому методі торкретування суха суміш надходить до матеріалопроводи, наприклад, через клапанні шлюзові затвори, що обертаються осередку резервуара або транспортують шнеком і пневматичних подається потоком з низькою концентрацією матеріалу (рисунок 1.2, а) до розпилювальні сопла, де до суміші додають воду [35]. Величина концентрації матеріалу в потоці стисненого повітря може бути визначена виходячи з того, що максимальна продуктивність торкрет-машини зазвичай не перевищує 20м / ч, а середній необхідна витрата повітря - 5м<sup>3</sup> / хв і гранична концентрація сухої суміші складе не більше 7% [93].

При сухому способі торкретування суха суміш переміщається по трубопроводу з великою швидкістю. Тому, для якісного замішування бетонної суміші вода, що подається в сопло, проходячи через спеціальний водяне кільце,

перетворюється у водний туман і найкращим чином зволожує суху суміш. Гарне зволоження сухої суміші забезпечується при введенні води на відстані 1 ... 3 м від сопла. Тиск води повинен перевищувати тиск повітря не менше ніж на 0,1 МПа [93].

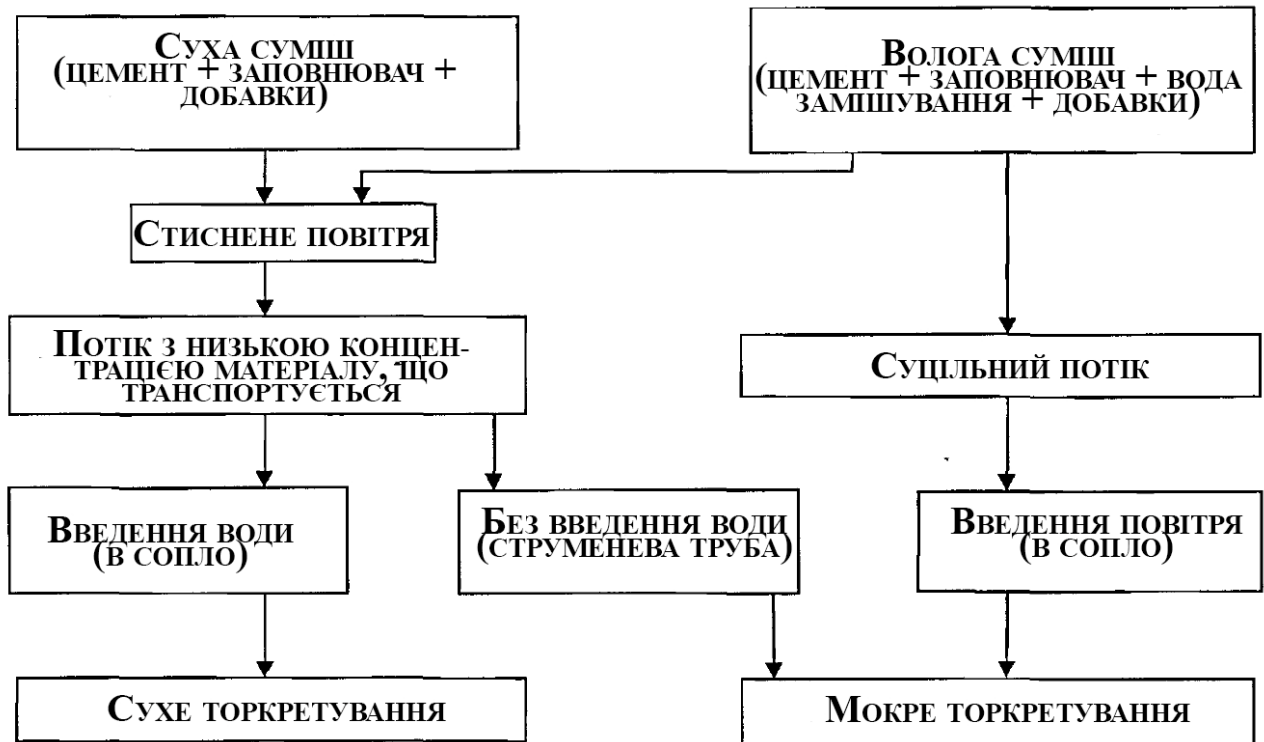


Рисунок 1.1 - Загальна схема виробництва торкрет-бетону

На рисунку 1.2 представлені основні схеми руху, що транспортується по трубопроводу, відповідні перерахованим вище методам торкретування [35].

При мокрому методі торкретування готовий бетон транспортується по матеріалопроводи двома способами:

- 1) суцільним потоком;
- 2) потоком з низькою концентрацією \* матеріалу.

При мокрому способі торкретування з подачею матеріалу суцільним потоком (рисунок 1.2, в) "бетонна суміш" транспортується, насосами, (шнековим, поршнеvim або роторними) по матеріалопроводи до розпилювальної \* соплу, де суцільний потік матеріалу під дією додатково вводиться в сопло стисненого повітря перетворюється в потік з низькою концентрацією матеріалу

з підвищеною швидкістю руху, після чого суміш наноситься на торкретіруему поверхню.

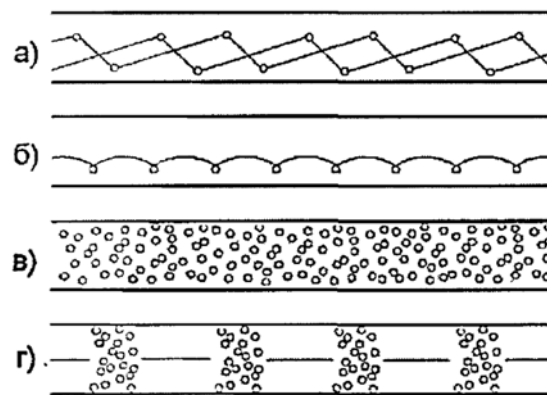


Рисунок 1.2 - Схеми руху матеріалів по трубопроводу:

а - потік з низькою концентрацією матеріалу при сухому способі торкретування; б - потік з низькою концентрацією матеріалу при мокрому способі торкретування; в - суцільний потік при мокрому способі торкретування; г - потік з окремих порцій (пробок) при мокрому способі торкретування

При мокрому способі торкретування з подачею потоком з низькою концентрацією матеріалу (рисунок 1.2, б, г) готова бетонна суміш за допомогою машиньт. (Наприклад, з клапанними шлюзовими затворами або з транспортуючим шнеком) стисненим повітрям подається по матеріалопроводи до струменеспрямовуючої трубі. На рисунку 1.3 представлена схема \* транспортування бетонної суміші при мокрому-способі торкретування [35].

На основі аналізу накопиченого досвіду щодо вирішення проблем, пов'язаних з необхідністю забезпечувати однорідність суміші, рівномірність подачі, зберігати властивості суміші в процесі транспортування, в подальших експериментальних дослідженнях, виконаних автором, було розроблено експериментальне регулювальний пристрій, що дозволяє здійснювати безперервну циркуляцію бетонної суміші по трубопроводах.

Широкий спектр проблем, для вирішення яких застосовується торкретування, зумовив паралельне розвиток технологій і обладнання, що застосовується, характерних для обох способів.



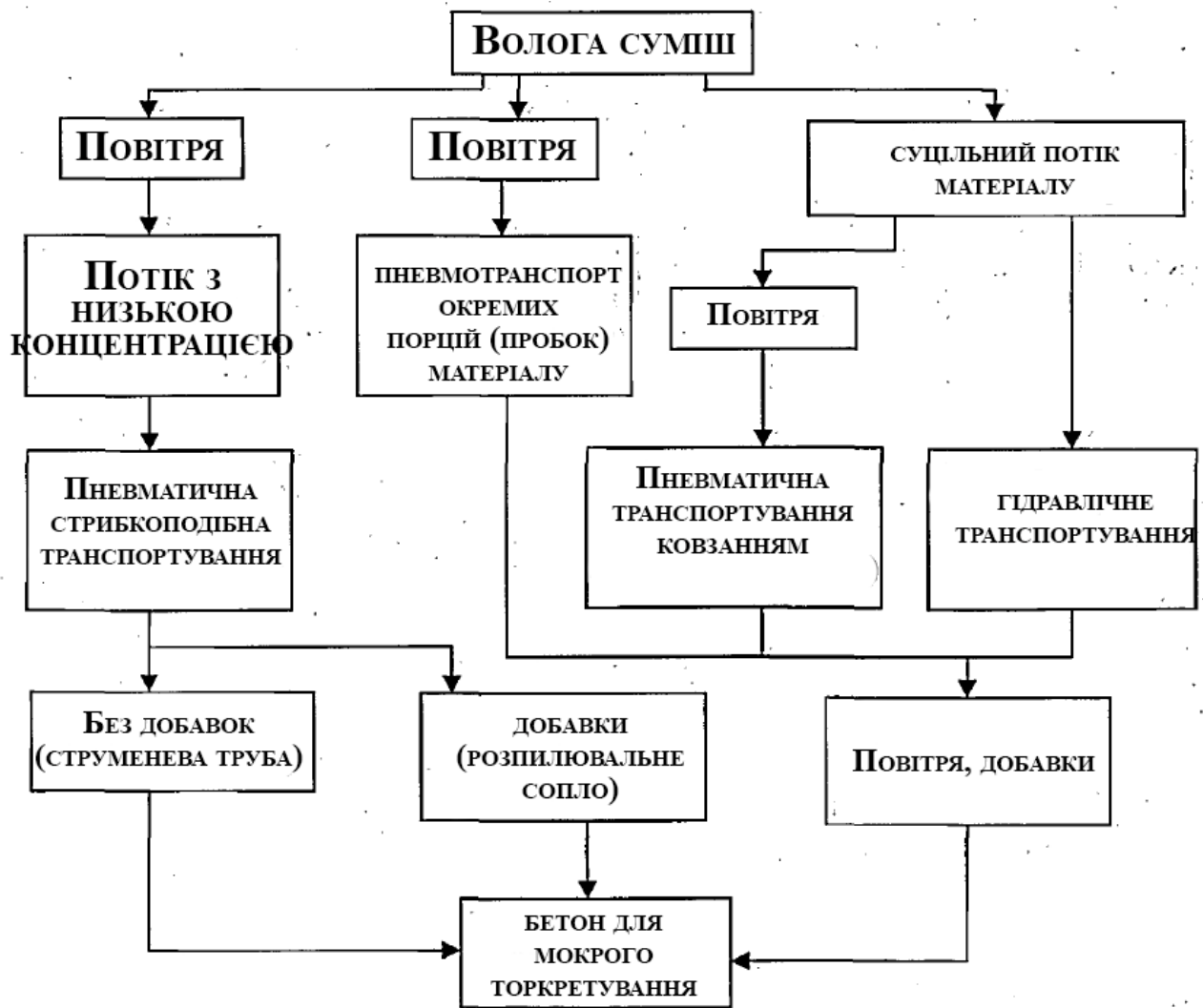


Рисунок 1.3 - Схема транспортування бетонної суміші при мокрому способі торкретування

Для сухого способу нанесення торкрет-бетону, в основному, застосовується три типи машин: камерні, шнекові та роторні [1], які розрізняються між собою як за принципом дії, так і за особливостями подачі сухої суміші в змішувальну (робочу) камеру. Принцип роботи всіх цих машин заснований на використанні стисненого повітря як транспортний засіб і вони характеризуються невеликим обсягом робочої ємності і, незважаючи на порівняно низьку концентрацію транспортується сухої суміші, мають досить високу технічної продуктивністю і здатністю працювати на заповнювачах розміром 20 - 25 мм.

Камерні машини підрозділяються на одно-, двокамерні і трикамерні. Однокамерні машини - це машини »циклічної дії, які після переробки певного обсягу матеріалу необхідно зупинити для завантаження їх черговою порцією сухої суміші.

Такі машини відрізняються простотою конструкції, надійністю в роботі і простотою технічного обслуговування.

Основний недолік камерних машин - порівняно велика висота (1,6 м), обумовлена розмірами робочої камери, і необхідність періодичних зупинок, що трохи знижує продуктивність і порушує стабільність подачі бетонної суміші (рисунок 1.4).

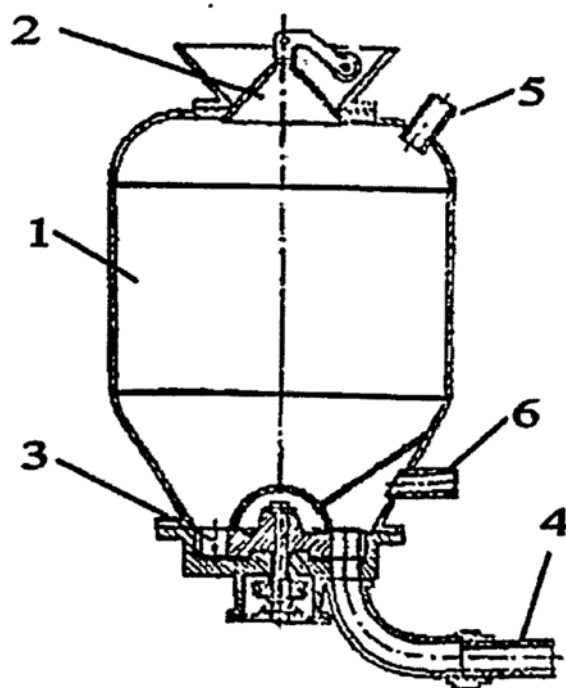


Рисунок 1.4 - Схема однокамерною торкрет-машини:  
 1 - робоча камера; 2 - колоколообразний клапан; 3 - дозатор; 4 - шланг;  
 5 - патрубок для подачі стисненого повітря в камеру; 6 - патрубок для  
 подачі сжа-того повітря в видувний вузол

Крім того, часті зупинки і запуски машини ускладнюють отримання набризг-бетону високої якості і збільшують пилоутворення в процесі її роботи. До таких машин, що випускаються в нашій країні, відносяться БМ - 60П і БМС - 3 продуктивністю 3 ... 4 м<sup>3</sup> / год (по сухій суміші).

Двокамерні машини розраховані на безперервну роботу, але можуть працювати і в режимі циклічності.

Найбільш старий тип таких машин винайдений Карлом Ейклі ще в 1917 р, який застосовується успішно і до теперішнього часу. Принцип роботи машин полягає в тому, що вони мають дві камери (рисунок 1.5): шлюзову 1 і робочу 2, які дозволяють вести роботу в безперервному режимі. Поки спорожняється робоча (нижня) камера, шлюзова (верхня) камера завантажується черговою порцією сухої суміші, після чого на пластину герметично закривається і в камерах вирівнюється тиск повітря.

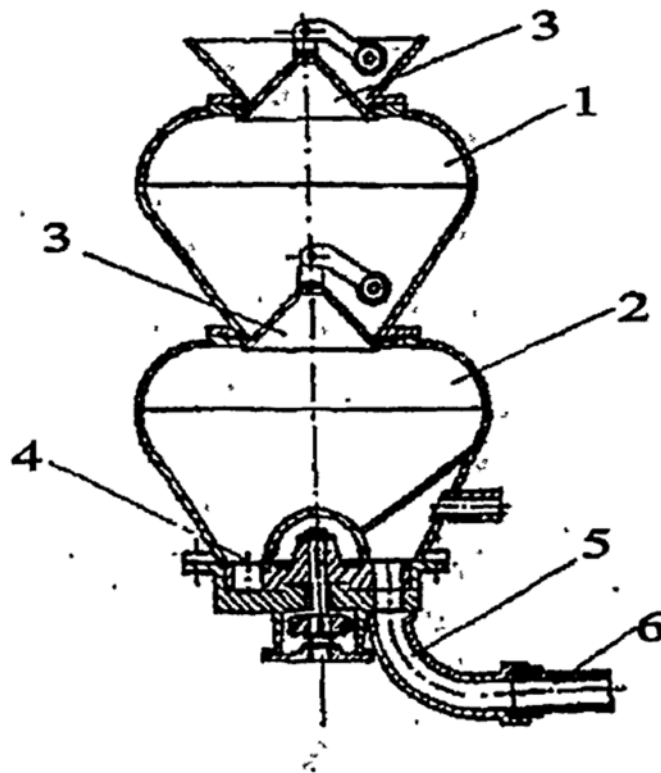


Рисунок 1.5 - Схема двухкамерной машины с тарілчастим живильником  
1,2- робочі камери; 3, 4 - клапани; 5 - вихідний патрубок; 6 - шланг

Затвор (конусний клапан) між камерами відкривається, і суха суміш з верхньої камери пересипається в нижню. Потім затвор між камерами закривається, і тиск повітря при відкритому верхньому затворі вирівнюється до атмосферного, що дозволяє завантажити верхню камеру новою порцією сухої суміші. Таким чином, забезпечується безперервна робота двокамерних машин. Недоліком таких машин є невелика місткість камер (150 л) і складність їх експлуатації, так як час випорожнення робочої камери становить всього 2,0 ... 2,5

хв, а для забезпечення безперервності необхідно за цей короткий відрізок часу встигнути виконати всі маніпуляції, пов'язані з процесом завантаження і шлюзування машини. Крім того, наявність двох камер збільшує і висоту цих машин (до 1,7 м), що ускладнює їх завантаження, особливо в обмежених умовах підземного будівництва. Машини такого типу випускаються в багатьох країнах (Німеччині, Австрії, США та ДР -) \* У нашій країні випускають машини марок БМ-60, С-702, СБ-66 і СБ-67.

Для подачі в'язких і гіпсобетонних сумішей значного поширення набули шнекові машини.

Шнекові машини безперервної дії відрізняються невеликими розмірами. Перевагою цих машин є простота пристрою робочого органу, відсутність клапанів, перемикачів і ущільнювачів. Невелика \* висота машини дозволяє легко здійснювати завантаження. Однак, суттєвим недоліком машин є велика споживана потужність і інтенсивний знос шнека. До пристроїв зі шнеком відноситься машина «Алів-200» фірми «Алів». Робота машини здійснюється наступним чином (рисунок 1.6).

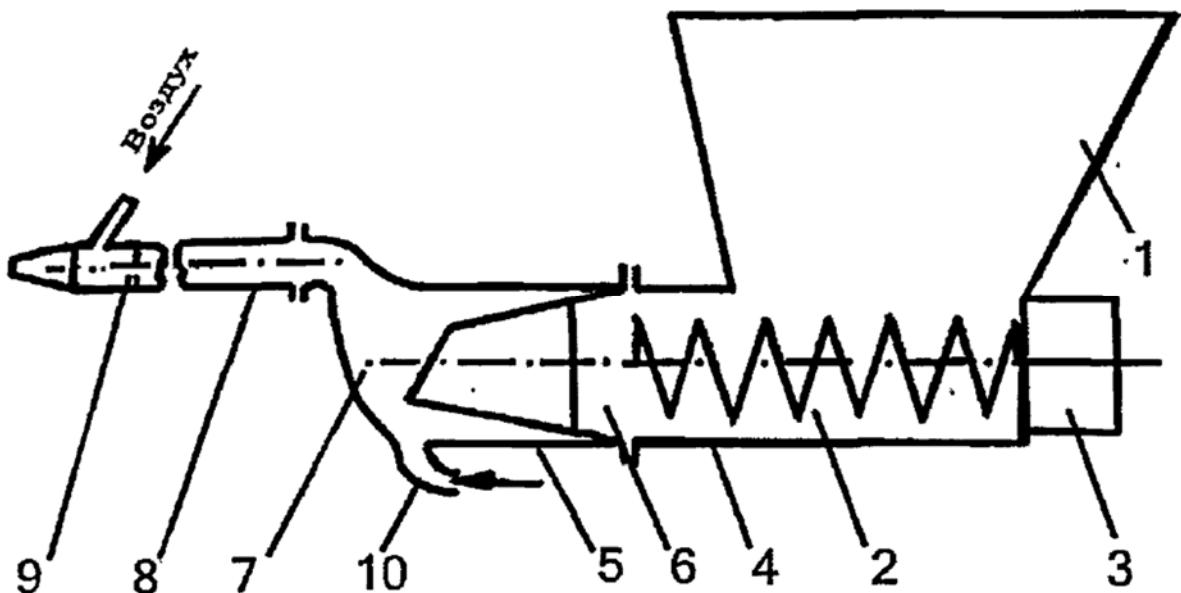


Рисунок 1.6 - Схема шнекової торкрет-машини

- 1 - завантажувальний пристрій; 2 - шнек; 3 - привід; 4 - корпус; 5 - мундштук; 6 - підстава мундштука; 7 - аерокамера; 8 - бетоновод; 9 - сопло; 10 - повітропровід

Суша бетонна суміш надходить в завантажувальний пристрій, потім подається шнеком до основи мундштука. Матеріал, пройшовши жорстку основу мундштука, повністю заповнює його обсяг і ущільнюється. Потім він потрапляє в конусну еластичну частину мундштука, де доуплотнюється. При зміні фізико-механічних властивостей матеріалу, що транспортується зусилля бокового розпору в мундштуці саморегулюється за рахунок еластичного мундштука. При збільшенні зусилля бокового розпору в разі застосування «еластичного мундштука відбувається зміна кута конусності мундштука, що призводить до зниження зусиль на проштовхування матеріалу: Щільність матеріалу в мундштуці залишається в межах, що забезпечують герметичність, аерокамери від завантажувального пристрою під час постійної: потужності приводу: Для розпушення матеріалу, що надходить в аерокамеру, площину розвантажувального отвору мундштука має- скіс, спрямований: під кутом до поверхні підстави конуса, а повітропровід підключенгк: аерокамере.'таюш'образом, щоб динамічний напір струменя бив з зовнішньої 'боку виступила- гавкає кромки: бічний, поверхні; скошеного еластичного конуса: 3; аерокамери матеріал транспортується по трубопроводу до сопла, де змочується «водою, з наступним нанесенням бетону на оброблювану» поверхню.

Недоліком шнекових машин; є, висока «енергоємність (потужність двигуна в 4 ... 5; разів більше, ніж у машин; камерного типу) і, складність деяких конструктивних вузлів (герметизація циліндра, шнека). Такі, ма-г шини (ВБ - 12, МБ - 12 та ін.) Випускає швейцарська фірма «Алшва».

Машини роторного типу також є машинами безперервного дії: Це більш досконалі машини для ведення бетонних робіт шляхом на- бризок. Особливістю їх є те, що суха суміш через відкриту завантажувальну воронку за допомогою ротора (шлюзового барабана): з вертикальною віссю обертання; має циліндричні осередки, куди потрапляє суха суміш, рівномірно надходить в матеріальний шланг і потім під дією стисненого повітря - в сопло:.

Такі машини-мають невелику висоту, компактні і досить зручні в експлуатації. Крім того, вони-споживають значно менше енергії, ніж шнекові машини. Великою перевагою машин цього типу є їх універсальність, т. Е. При наявності змінного обладнання; (Барабана з різними осередками) можливо

працювати на заповнювачах різної крупності, а також здійснювати транспортування і укладання готової бетонної суміші в опалубку (рисунок 1.7).

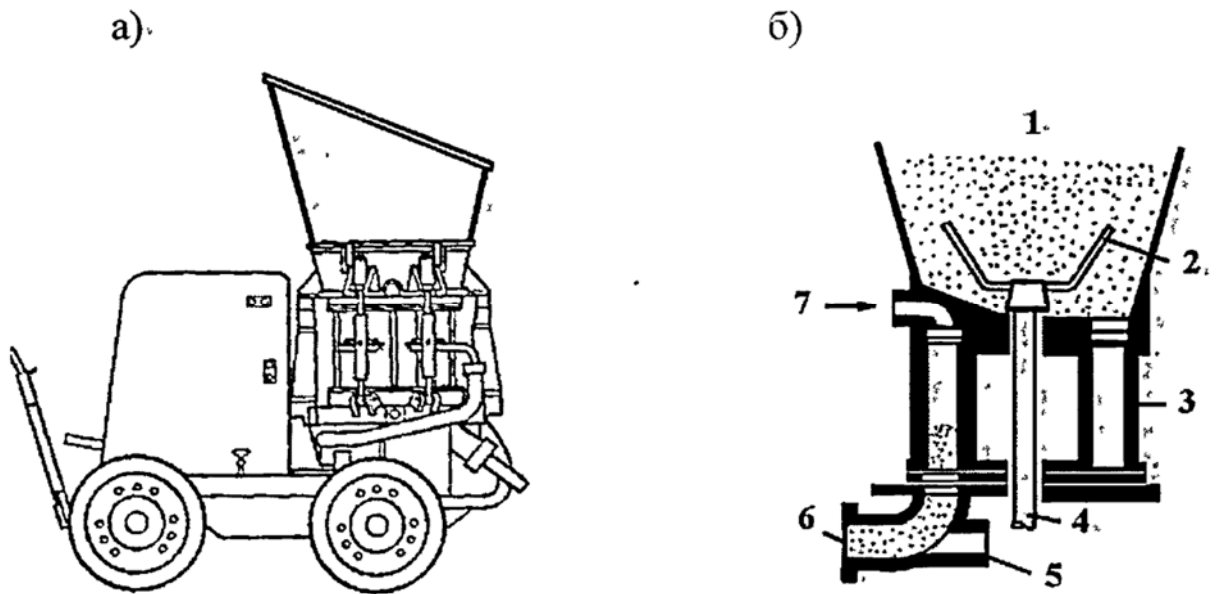


Рисунок 1.7 - Схема машини роторного типу:

а - загальний вигляд; б - вузол завантаження і видачі сухої суміші з барабана: 1 - загрузочна воронка для сухої суміші; 2 - ротор змішувача; 3 - ротор-дозатор для подачі сухої суміші в вихідний патрубок; 4 - приводний вал; 5 - подача сжатого повітря; 6 - вихідний патрубок; 7 - додаткова подача стисненого повітря

За кордоном машини роторного типу випускає кілька фірм: «Алі-ва» (Швейцарія) випускає торкрет-машини різних моделей: «Аліва- 246.5, 252, 263, 285.2». У Німеччині фірма «Торкрет» випускає універсальні машини ОМ-57 і ТМ-63 і фірма «Путсмайстер» машини «81ка» -РМЧ07, 500, 702. У Чехії - машину 88В-22. Фінляндія випускає торкрет-машини 8ргаутес 7110 \ УРС, Австралія - Кобовіо! М1сУе1 МК-3 ІМК-4. Всі вони досить ефективні.

Слід зазначити, що численні модифікації «машин, що випускаються за кордоном, пристосовані до всіляких умов і відрізняються певною раціональністю та універсальністю. Наприклад, машина «Алів-285.2 Універсал» дозволяє переходити протягом декількох хвилин з мокрого способу на сухий, а система безступенчатого регулювання «гідроприводу забезпечує продуктивність від 5 до 8 м<sup>3</sup> мокрою (сухий) суміші на годину в залежності від діаметра шланга.

Дальність подачі становить при мокрому способі (по горизонталі і вертикалі) до 40 м, а при сухому по горизонталі - до 300 м; по вертикалі - до 100 м:

У нашій країні машини роторного типу випускаються марок С-320, БМ-68, БМ-70 і СБ-Г17. Наступним типом машин для торкрет-бетону є установки ежекційного торкретування.

Аналіз літератури [6, 7, 13, 29, 42, 86, 131] дозволив виділити з числа використовуваних машин установки ежекційного торкретування, гідністю яких є відсутність механічних живильників, ущільнювачів, простота конструкції, мала вага, простота обслуговування і роботи. Недоліком машин є мала дальність транспортування бетонних сумішей.

На рисунку 1.8 представлена принципова схема торкрет-машини, що діє за принципом віброежекції і продукції, що випускається в нашій країні.

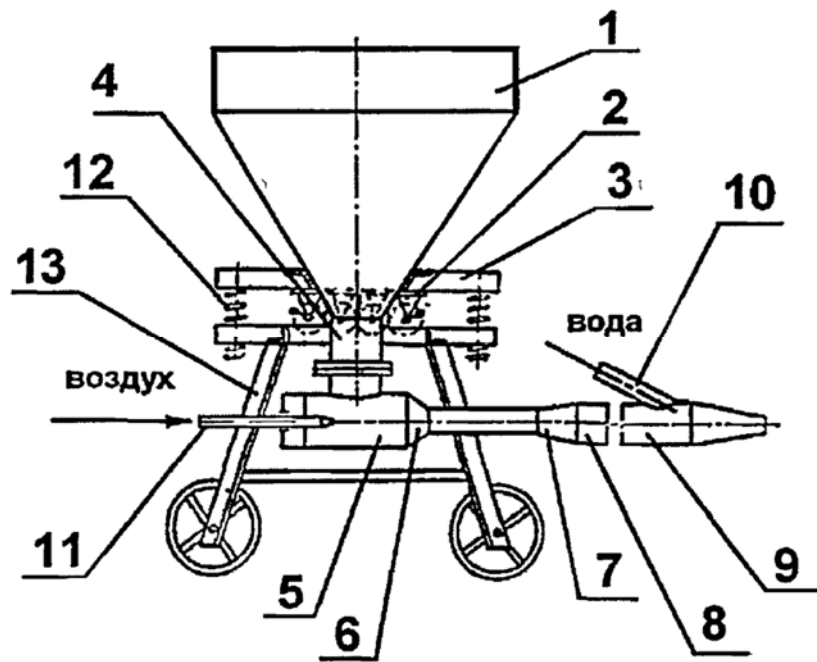


Рисунок 1.8 - Схема віброежекційної торкрет-машини УЕТ:

- 1 - віробункер; 2 - вібромайданчик; 3 - вібратор; 4 - патрубок; 5 – приймальня камера ежектора; 6 - камера змішування; 7 - дифузор; 8 – матеріальний шланг; 9 - сопло; 10 - водяний шланг; 11 - повітряна трубка; 12 - пружинні блоки; 13 - опорний пристрій

Особливістю машини Ует є використання струменя стиснутого повітря, що виходить з сопла ежектора з більшою швидкістю; (200 ... 300 м / с), що забезпечує, транспортування сухої суміші з розміром заповнювача до  $\gg 10$  мм з матеріального шлангу на відстань до 20 м по горизонталі і до 5 м по вертикалі. Продуктивність такої установки становить близько: До м / ч при; тиску-повітря 0,42.0; 6 МПа і фасходе 6 ... 8 м<sup>3</sup> / хв [104]. Такі машини зазвичай використовують при відносно невеликому обсязі ремонтних робіт для відновлення бетонних і залізобетонних конструкцій. Перевагою ежекторних, установок є відносна простота конструкції, використання одного виду енергії - стисненого повітря, рівномірність нанесення бетону; невеликі габарити і удобство швидкого переміщення:

Для нанесення торкрет-бетону товщиною 5 см площею 21000 м на поверхні залізобетонної проїжджої частини при будівництві моста через річку Лопотня у села Хатун. [9, 132] була впроваджена ВЕТ-машина; яка принципово не відрізняється від машини Ует. Як показали результати впровадження віброежекційної машини, міцності нанесеного бетону на 15 - 25% вище, чим у віброваних бетонів [42].

Згодом, в 80-х роках була розроблена торкрет-машина з безперервним завантаженням бункера [10] (рисунки 1.9), що складається з робочої ємності 3 із завантажувальним бункером 1 і колоколообразной затвором 2, двуплечого важеля 13 з противагою 11, трубопроводу 10 і клапанної камери, 9 для перекриття подачі повітря в робочу ємність під час загрузки кия у нижній частині робочої ємності встановлені, ежектор 8, трубопровід 7 і сопло 6, до якого подається вода. Ємність вібрує на чотирьох пружинних блоках; 4 під впливом вібратора 5. У верхній частині робочої ємності встановлений повітряний кран 12.

Під час роботи машини включається вібратор; в ежектор подається стиснене повітря, при закінченні якого з сопла в ежекторі утворюється вакуум, а в трубопроводі створюється тиск.

При закритому ручним способом крані і колоколообразной затворі здійснюється завантаження бункера сухими складовими бетону. В цей же час клапанна камера відкриває подачу повітря в ємність.



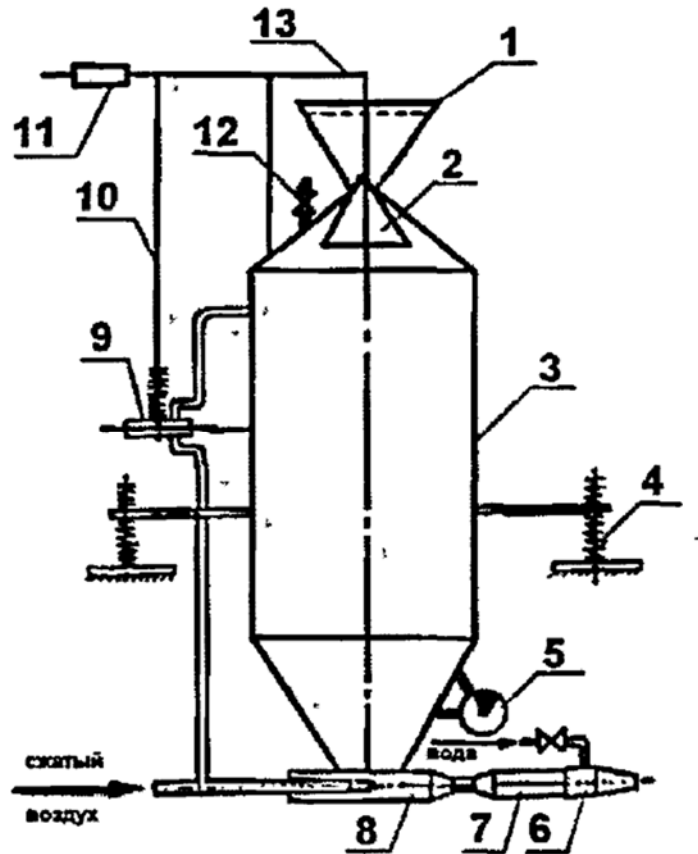


Рисунок 1.9 - Схема торкрет-машини з безперервним завантаженням:  
 1 - завантажувальний бункер; 2 - затвор; 3 - робоча ємність; 4 - пружинні опорні блоки; 5 - вібратор; 6 - сопло; 7 - трубопровід; 8 - ежектор; 9 - клапанна камера; 10 - трубопровід; 11 - противагу; 12 - повітряний кран; 13 - двуплечий важіль

Цей вид машин технологічно більш ефективний у порівнянні з попередніми конструкціями машин, так як простота дозування і транспортування матеріалу є одним з важливих переваг.

Мокрий спосіб торкретування бетонних сумішей, як правило, вимагає спеціальних машин, однак, деякі машини, що застосовуються для сухого способу, мають змінне обладнання і після відповідного перебудови можуть використовуватися для подачі торкрет-бетонної суміші.

До таких машин відносять вітчизняні роторні машини БМ-68, БМ- 70. Ці машини забезпечені комплектами обладнання для приготування торкрет-бетону і укладання бетонної суміші. При роботі машин в якості бетоноукладчика діаметр матеріального шланга має розмір 90 мм, і може пропускати наповнювачі розміром до 40 мм, продуктивність машин в цьому випадку становить відповідно

13 ... 14 і 10...Л2 м3 / год. Для запобігання пошкодженню опалубки від ударів бетонної суміші на кінець матеріального шланга встановлюють гаситель швидкості.

Спеціально випускаються машини для мокрого способу відрізняються між собою, в основному, способами 'подачі бетонної суміші в матеріальний трубопровід. Якщо подача бетонної суміші здійснюється за допомогою поршневих, роторних або черв'ячних насосів, вихідна суміш безперервно подається в сопло, куди додатково підводиться стиснене повітря для збільшення швидкості вильоту набризкувати матеріалу. На цьому принципі працюють машини фірм «Челендж» (США), «Монтанбюро» (Німеччина) та ін. На принципі пневмотранспорту, коли готова бетонна суміш транспортується по трубопроводах стисненим повітрям і до сопла для торкрет-бетонування додатково підводиться стиснене повітря, працюють машини фірм «Еймко» (Англія), «Льонею» (Франція) і «Путцмайстер» (Німеччина).

Для виробництва торкрет-бетонних робіт мокрим способом необхідні наступні машини і обладнання: розчинонасос з пневмопріставкою, компресорна станція, бетонозмішувач з скіповим підйомником, вібросито, приймальний бункер, комплект гнучких рукавів для подачі стисненого повітря і бетонної суміші, сопло для нанесення торкрет-бетону.

При цьому, як подають і дозуючих апаратів під час виконання робіт використовуються розчинонасоси, забезпечені спеціальними пневмонасадками, наприклад, насадкою Н.С. Марчукова.

На рисунку 1.10 представлена схема установки «пневмобетон» Н.С. Марчукова [10].

Установка складається з бетононасоса прямоочного дії 1, в який з розчинозмішувачі 2 через вібросита 3 подається бетон.

Бетононасос подає бетонну суміш порціями в змішувальну камеру 4, звідки під дією стисненого повітря вона надходить в шланг 5, по якому транспортується в підвішеному стані до сопла 6. З сопла бетонна суміш вилітає з великою швидкістю і наноситься на оброблювану поверхню. Повітря в змішувальну

камеру подається від компресора 7 по шлангу 8. Завантаження бетономішалки здійснюється скіповим підйомником 9.

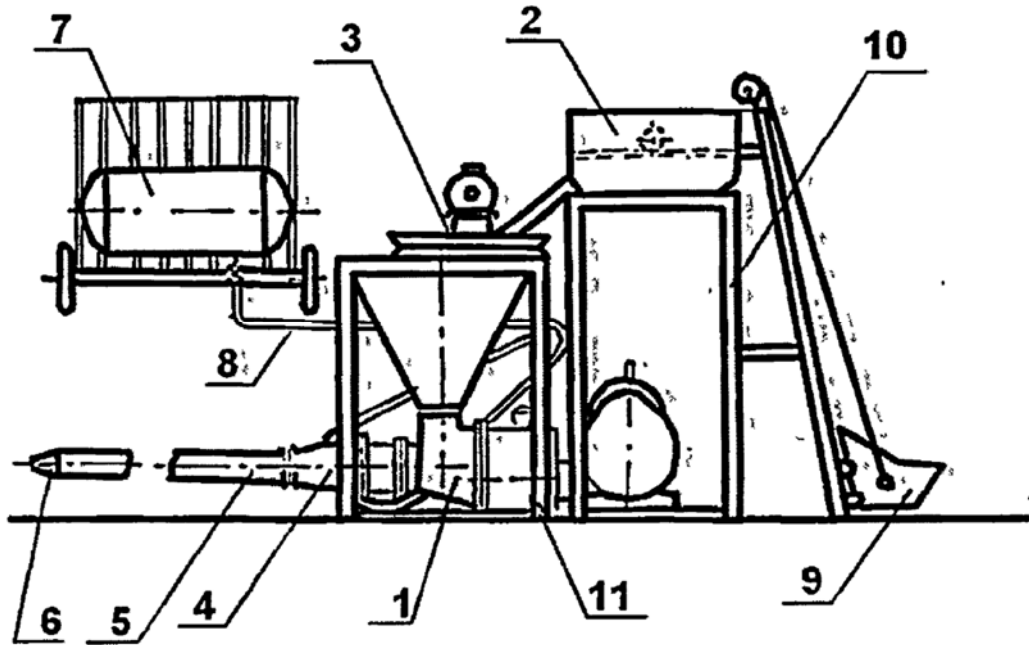


Рисунок 1.10 - Схема установки Н. С. Марчукова:

1 - бетононасос; 2 - бетономішалка; 3 - віброрито; 4 - камера змішувача;  
8 - шланги; 6 - сопло; 7 - компресор; 9 - підйомник; 10 - стійки; 11 - рама

Однією з найбільш сучасних машин для-мокрого способу є насос «Алів Денсо 275» (Швейцарія). Цей насос забезпечує швидке і в той же час «м'яке» перемикавання з всмоктуючого режиму роботи на нагнітальний шляхом безпосереднього повороту спеціальних циліндрів, що позитивно відрізняє його від всіх відомих досі систем.

Крім того, використання подає циліндра з невеликою довжиною ходу обумовлює хорошу ступінь наповнення і при використанні жорсткої бетонної суміші. Такий насос має наступну характеристику: висоту 1750 мм, ширину 1600 мм, довжину 4450 мм; маса близько 2450 кг. Двигун - дизель (потужністю 35 кВт) або електродвигун (потужністю 37 кВт): Місткість воронки складає 220 л, а максимальна продуктивність до-20 м<sup>3</sup> / год. Простота конструкції насоса забезпечує мало- надійну його експлуатацію.

Зарубіжні фахівці йдуть по шляху, агрегування установок, забезпечуючи їх всіх необхідними пристроями \* для дозування; перемішування і безперервного нанесення бетонної суміші.

Інший, більш ефективної, установкою для нанесення торкрету мокрим способом є установка «Пневмобетон» ПБ-1 \* [85, 110] (рисунок 1.11).

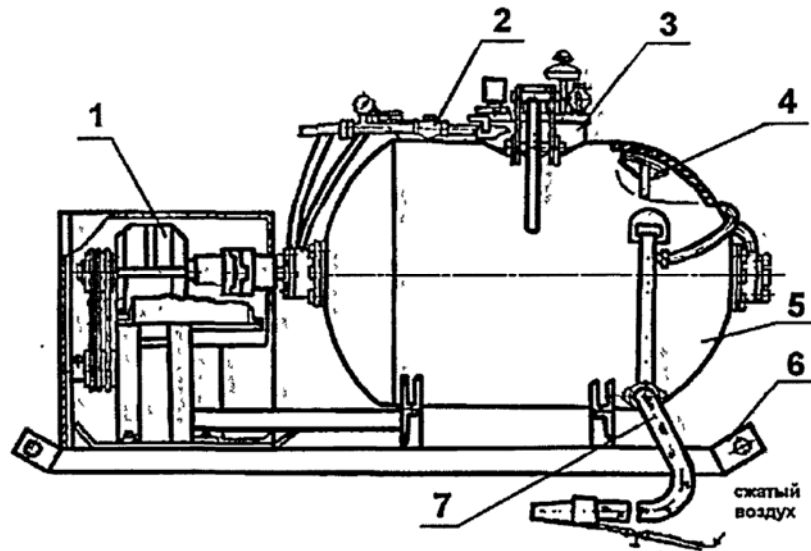


Рисунок 1.11 - Схема установки для подачі і нанесення торкрет-бетону "Пневмобетон" ПБ-1:

1 - привід; 2 - пневмосистема; 3 - завантажувальний люк; 4 - стимул;  
5 - робоча камера; 6 - рама; 7 - бетоновод

Установка ПБ-1 складається з рами на санчатах з розміщеною на ній робочої камерою, в якій змонтований стимул, завантажувального люка з кришкою, пневмосистеми, приводу і бетоноводу. Працює установка в такий спосіб. Робочу камеру на 60 - 70% повного обсягу через завантажувальний люк заповнюють бетонною сумішшю рухливістю не менше 4 - 6 см із занурення стандартного конуса. Включають стимул і після приготування суміші необхідного складу і рухливості робочу камеру герметично закривають кришкою і подають стиснений воздухот компресора продуктивністю, \*? - 10 м<sup>3</sup> / Хв. Лопать спонукача, проходячи над вихідним отвором; робочому камери-перекриває його »перешкоджаючи проходженню; бетонної суміші, в гнучкий

рукав - бетоновод В цей час на виході з робочої камери бетоновод через змішувальну камеру подається стиснене повітря, який; транспортує, порцію бетонної суміші по гнучкого рукава до сопла .: Стиснутий; повітря, що підводиться до сопла, повідомляє бетонної, суміші енергію, необхідну для нанесення її набризком.

Робота установки циклічна, час циклу залежить від тривалості завантаження і дальності подачі смесі [78].

ВНПОМШЄом [13] розроблена універсальна пневмобетонная машина ПБМ місткістю до 4 м

Вона може наносити торкретбетон з максимальною крупністю заповнювача до 10 мм. Ця машина; передбачає зберігання і транспортування матеріалу, дозування складових, приготування сухої бетонної; суміші за допомогою шнека і нанесення її на робочу поверхню. Продуктивність таких машин складає від 8 до 11 м / ч при дальності подачі смесі до 200 м. Необхідно відзначити, що такі машини мають великі розміри, швидко високою матеріаломісткістю - до 11,3 т (рисунок 1.12).

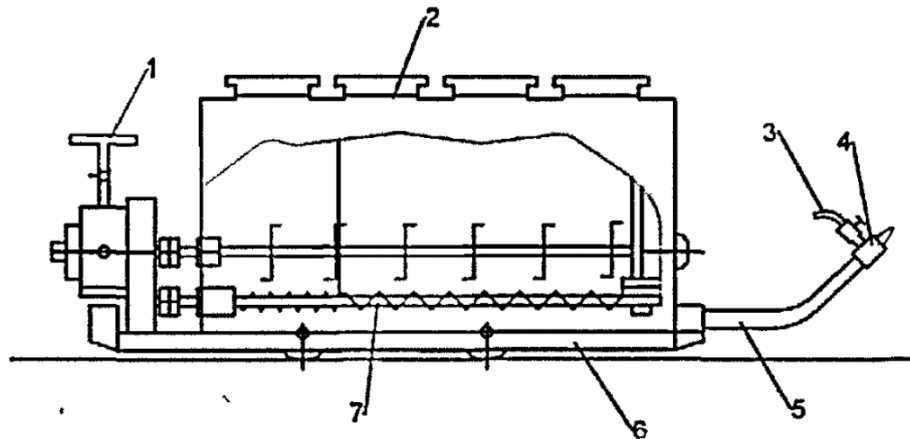


Рисунок 1.12 - Схема машини ПБМ для нанесення торкрет-бетону:  
1 - повітропровід; 2 - машина ПБМ; 3 - шланг для води; 4 - сопло; 5 - матеріальний шланг; 6 - пересувна платформа; 7 - горизонтальний шнек

Практичний досвід торкретування в різних виробничих умовах показав; що на робочому місці сопловщика існують шкідливі умови праці.

Аналіз технічних можливостей існуючих установок показав, що, основними проблемами є досить великий відскік суміші, пробки і забивання матеріальних шлангів.

До числа основних характеристик, що дозволяють визначити ефективність обладнання, відносяться: продуктивність, простота пристрою робочого органу, забезпечення рівномірного надходження суміші, простота обслуговування і роботи.

Відскік торкрет-бетонної суміші від оброблюваної поверхні, обумовлений високими швидкостями польоту струменя і невеликими відстанями від сопла до цієї поверхні, супроводжується потраплянням крапель суміші і пилу в зону знаходження робочого-сопловщика.

Вимоги техніки безпеки виробництва робіт, додаткові труднощі з виконанням торкретування на складних будівельних об'єктах, а так само в обмежених умовах виробництв і тунелебудування, привели до появи торкрет-маніпуляторів. Ці машини мають переважно гідравлічний привід і можуть поставлятися як окремим модулем (телескопічна торкрет-стріла з електроприводом і розпилювальних соплом для нанесення бетонного розчину з можливістю монтажу на наявний гідропідйомник), так і змонтованим на якоесь технологічне шасі для переміщення в межах будівельного об'єкта. У таких торкрет-машинах переміщення сопла у оброблюваної поверхні здійснюється за рахунок застосування спеціальних маніпуляторів, керованих дистанційно. На рисунку 1.13 показані загальні види маніпуляторів фірми Меус (Швейцарія).

Важливим конструктивним елементом для нанесення торкрет-бетону на оброблювану поверхню є розпилювальне сопло, в якому відбувається збільшення швидкості потоку бетонної суміші на виході з нього. Розпилювальне сопло - це конічний, циліндричний або сплющений відрізок труби з пристроєм для подачі до транспортованого матеріалу води, повітря або добавок [93]. Розпилювальне сопло використовується як для сухого, так і для мокрого торкретування.

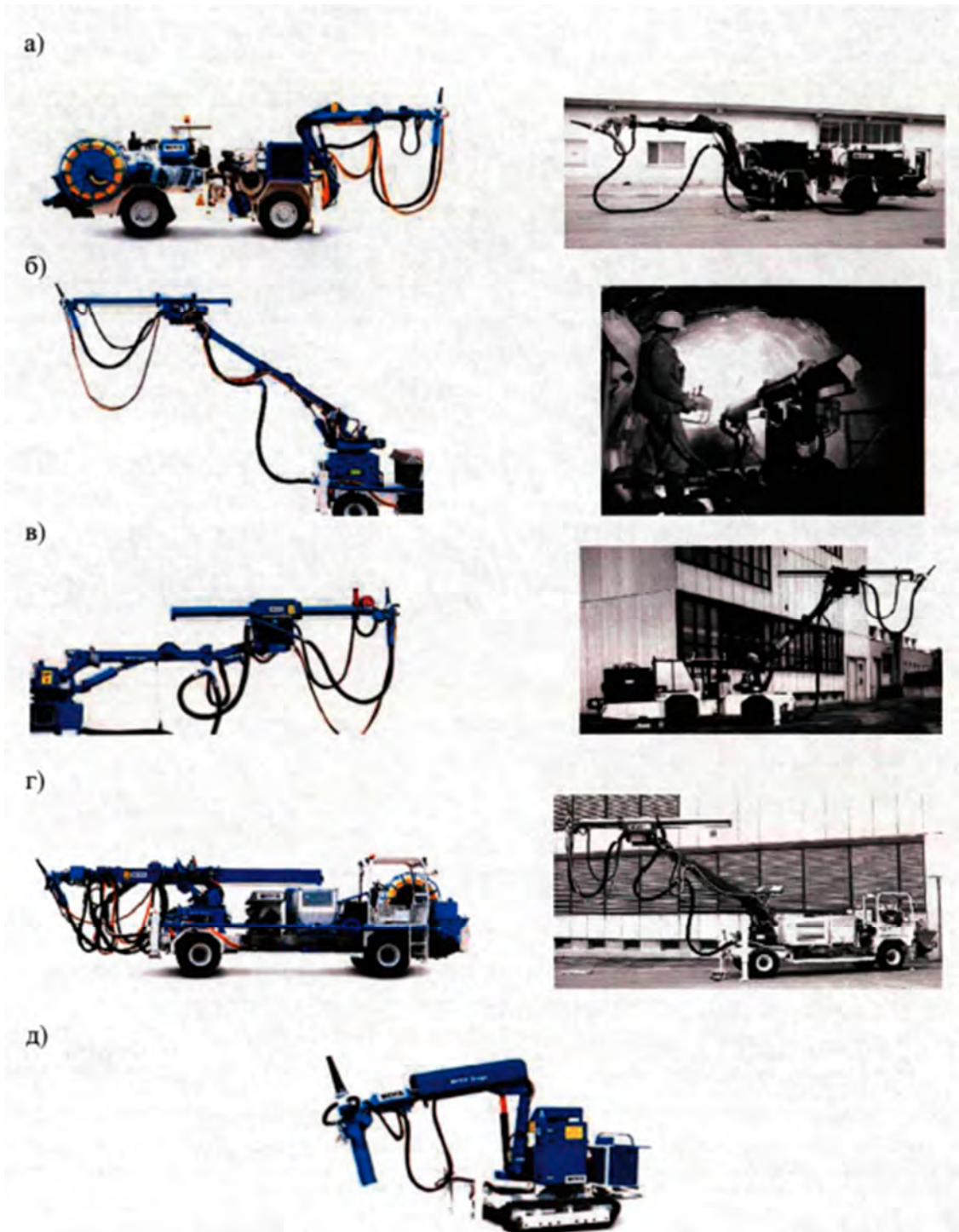


Рисунок 1.13 - Торкрет-маніпулятори фірми Меус (Швейцарія)  
 а) Меусо Собра, б) Меусо Robojet, в) Меус Robojet Logica,  
 г) Меус Potenza, д) Меус Oruga

Аналіз існуючих конструкцій сопла, що застосовуються в різних установках, дозволив встановити основні параметри і конфігурацію сопел, представлених на рисунку 1.14

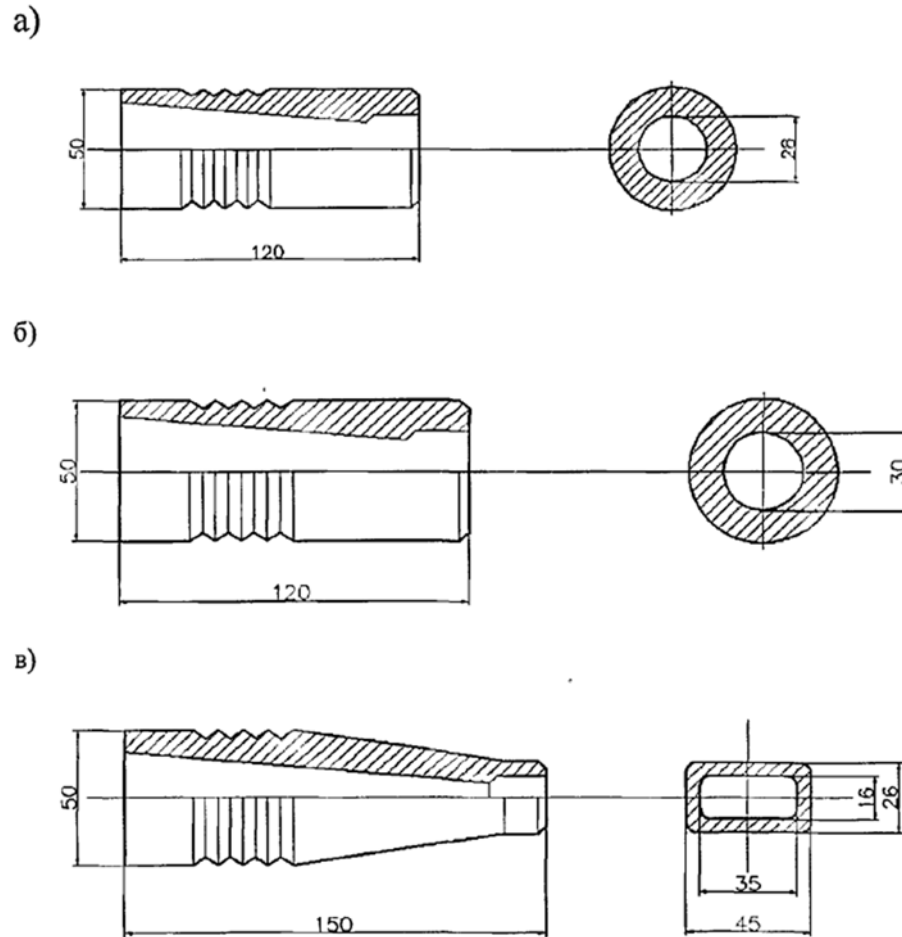


Рисунок 1.14 - Схеми сопел для нанесення бетонних сумішей:  
а - на вертикальні поверхні; б - на горизонтальні поверхні зверху -  
вниз; в - при замонолічування стиків

На підставі вивчення вітчизняної та зарубіжної практики застосування торкрет-бетону [1, 7, 20, 92, 140, 145], а так само методів торкретування з використанням відповідної техніки, виконано порівняльний аналіз переваг і недоліків сухого і мокрого методу торкретування, результати якого представлені в таблиці 1.1.

Зіставлення розглянутих експлуатаційних характеристик обох методів нанесення торкрет-бетону показує, що по деяких факторів мокре торкретування



Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз сухого і-морого торкретування з використанням різного обладнання

Метод торкретування	Переваги	Недоліки
Сухий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тривалий термін зберігання вихідних компонентів.</li> <li>2. Відсутність залишків вихідної суміші торкретбетону після закінчення робіт.</li> <li>3. Велика дальність транспортування Пневмоустановка сипучих матеріалів.</li> <li>4. Простота і універсальність обладнання.</li> <li>5. Енерговитрати машин менше.</li> <li>6. Маса і вартість машин менше.</li> <li>7. Робітникамі-торкретчику легше працювати з соплом.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока швидкість транспортування матеріалів по трубопроводу (до 150м / с).</li> <li>2. Значний обсяг відскоку від оброблюваної поверхні (до 40%).</li> <li>3. Високий ступінь пилоутворення, що створює шкідливі умови праці сопловника.</li> <li>4. Високий витрата стисненого повітря.</li> <li>5. Необхідність підсушувати вологі компоненти і, як наслідок, необхідність влаштування на будмайданчику закритого складу для проміжного зберігання запасу наповнювачів для зниження їх вологості.</li> <li>7. Оптимальне значення водоцементного відносини знаходиться в дуже вузьких межах, і, як наслідок, потрібна вища кваліфікація сопловщика для регулювання суміші на виході з сопла.</li> </ol>

Продовження табл. 1.1

Метод	Переваги	Недоліки
		<p>8. Час перемішування вихідної суміші збільшено у порівнянні з мокрим.</p> <p>9. Досить високі витрати на деталі, що зношуються. повітря. сопла.</p>
Мокрий	<p>1. Можливість більш точного дозування вихідних компонентів і водоцементного відношення.</p> <p>2. Менша швидкість підльоту частинок суміші до оброблюваної поверхні (до 50м / с), що супроводжується зниженням відскоку матеріалу.</p> <p>3. Зменшення пилоутворення.</p> <p>4. Зниження витрати стисненого повітря.</p> <p>5. Не потрібно обмежувати вологість заповнювача.</p> <p>6. У вологій суміші можна більш стабільно підтримувати її рівномірність і якість.</p> <p>7. Добавки можна вводити в меншій кількості, ніж при сухому методі.</p> <p>8. Продуктивність вище.</p> <p>9. Робочий-торкретчик не може змінювати водоцементное відношення на виході з сопла, тому вимоги до його кваліфікації нижче.</p>	<p>1. Велика трудомісткість ра-бот.</p> <p>2. Менша дальність транспортування трубопроводами.</p> <p>3. Час використання приготовленої бетонної суміші обмежена.</p> <p>4. В кінці бетонних робіт необхідно прибирати невикористану бетонну суміш.</p> <p>5. Робітників-торкретчиків важче працювати з соплом.</p> <p>6. Енерговитрати машин вище.</p> <p>7. Маса і вартість машин вище.</p> <p>8. Надмірний тиск в матеріалопроводи вище.</p> <p>9. Виключена можливість навіть короткочасних перерв у торкретуванні без трудомісткою операції промивки матеріалопроводи (Відбувається його закупорка).</p>

має переваги, через які цей метод набув значного поширення в будівельному виробництві. Особливо такі недоліки сухого методу торкретування, як запиленість робочого місця сопловщіка, необхідність постійно регулювати витрата води і візуально контролювати якість укладеного бетону, більш низька експлуатаційна продуктивність обладнання зумовлюють вибір будівельників на користь мокрого методу. Для нас найбільш важливою перевагою мокрого методу, в порівнянні з сухим, є більш низька швидкість підльоту частинок до оброблюваної поверхні, що в умовах застосування пневмоопалубки знизить негативний вплив взаємодії укладається бетонної суміші і податливою поверхні пневмоопалубки на міцність конструкції.

Крім того, як було сказано вище, мокрий спосіб торкретування передбачає три види технології транспортування бетонної суміші: потоком з низькою концентрацією матеріалу, пневмотранспорт окремих порції (пробок) матеріалу і суцільним потоком. Машини для мокрого торкретування з подачею матеріалу окремими порціями транспортують суміші, не придатні для перекачування і використовуються, в основному, для подачі суміші. На підставі вивчення устаткування, яке застосовується при мокрому торкретуванні, автором виконано порівняльний аналіз технологій транспортування бетонних сумішей потоком з низькою концентрацією матеріалу і суцільним потоком, результати якого представлені в таблиці 1.2.

В результаті порівняльного аналізу технологій транспортування бетонних сумішей при мокрому способі торкретування обрана технологія подачі бетонної суміші по матеріалопроводу суцільним потоком.

Підвищити ефективність використання обладнання для торкретування можна за рахунок застосування найсучасніших торкрет-машин, у яких вплив торкретної факела практично не впливає на стійкість і деформативність пневматичних модулів. Застосування машини, транспортує вологу бетонну суміш за допомогою поршневого насоса суцільним потоком, забезпечить рівномірність подачі, сталість складу суміші, велику продуктивність, меншу

ударну дію струменя торкрет-бетону на 'пневмоопалубку, незначний відскік, при торкретуванні вертикальних поверхонь.

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз технологій транспортування бетонних сумішей по матеріалопроводи до розпилювальні сопла при мокрому способі торкретування з використанням різного обладнання

розряджений потік	суцільний потік
1. Водоцементное відношення нижче (0,38 - 0,44) і може бути зменшено за рахунок введення добавок.	1. Водоцементное відношення (0,440,5)
2. Витрата цементу (270 - 350 кг / м-*), напруги усадки і повзучості нижче.	2. Витрата цементу 330 - 450 кг / м3.
3. Зчеплення з основою вище через більшої швидкості частинок суміші в момент зіткнення з поверхнею бетонування.	3. Продуктивність вище.
4. Ступінь ущільнення торкрет-бетону вище.	4. Легше підтримувати рівномірність і якість транспортованої бетонної суміші.
5. Кількість вводяться в разі потреби добавок менше, і, як наслідок, менше знижується міцність конструкції.	5. Знос машин і матеріалопроводів нижче.
6. Енерговитрати, маса і вартість машин нижче.	6. Потреба в стислому повітрі дуже низька.
7. Кількість відскоку 20 - 30%.	7. Кількість відскоку 5 - 10%.
8. Консистенція вологою суміші 1-2	8. Консистенція вологою суміші 2-3.

Однією з таких машин є машина для мокрого торкретування з технологією подачі бетонної- суміші, суцільним: потоком словацького виробництва Р-13, укомплектованная.двухплунжерним, насосом з урівновешивающим поршнем, технічні характеристики якої наведені, в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики установки Р-13

Корисна ємність мішалки, л	170
Корисна ємність усереднювача, л	200
Номинальна продуктивність насоса:	
на першій передачі, м / ч / л / хв	1,5
на другій передачі, м 4 / ч / л / хв>	3,0*
на третій передачі, м3 / год / л / хв	4,8
Дальність подачі:	
по горизонталі, максимальна м	500
по вертикалі, максимальна м *	60
Допустиме тиск в транспортному трубопроводі, Па	5 88,4.10 <sup>4</sup>
Номинальний умовний діаметр транспортного трубопроводу, мм	35 и 50
Продуктивність компресора, м3 / год	24
Загальна встановлена потужність, кВт	10'
рід струму	50 Гц, 380 В'
Швидкість обертання валу мішалки, об / хв	52
Швидкість обертання валу усереднювача, об / хв	52
Максимальна зернистість перекачується розчину, мм	8
Габарити агрегату:	
висота, мм	1500
ширина, мм	1600
довжина, мм	3000
Маса агрегату (без приладдя), кг	900
Максимальна швидкість пересування, км / год	15

Машина Р-13 являє собою комплекс вузлів, встановлених на несучій рамі з колесами, що говорить про мобільність установки і зручність при переміщенні її з одного будівельного об'єкта на інший.

Торкрет-машина складається з бетономішалки, в яку завантажуються компоненти бетонної суміші в такій послідовності: вода, цемент, пісок. Розчин, приготовлений в бетономішалці з допомогою обертових валів з лопатками, розвантажується через вібраційне сито в бункер (усереднитель). При включенні

фрикційної муфти починає працювати насос, який має два циліндра, в яких переміщуються робочий і зрівняльний плунжери. Волога суміш через всмоктуючий патрубок надходить в насос. Робочий плунжер через перехідною патрубок проштовхує бетонну суміш суцільним потоком по матеріалопроводі до розпилювальні сопла. Безперервність подачі забезпечується невеликим ходом робочого плунжера в поєднанні з вирівнюванням тиску за рахунок врівноважує плунжера.



Рисунок 1.15 - Загальний вигляд торкрет-машини Р-13 для пневмонанесення бетонної суміші (позиції вказані на Рисунок 1.16)

Проведений аналіз науково-технічної літератури по торкретування дозволив сформулювати основні технологічні вимоги до процесу його нанесення на різні поверхні:

- сопло при нанесенні торкрету на вертикальну і горизонтальну поверхні розташовують перпендикулярно до них, що необхідно використовувати в подальших дослідженнях [11, 34, 113];

- нанесення торкрет-бетону здійснюється при рівномірному русі сопла по спіралі з перекриттям вже нанесеного шару на величину не менше 20 см (на вертикальні поверхні наносять горизонтальними смугами знизу вгору) [113];

- товщина одноразово шару, що наноситься не повинна перевищувати 15 мм при нанесенні на горизонтальні вертикальні поверхні (від низу до верху), 25 мм при нанесенні «на вертикальні поверхні, 50 <мм при нанесенні на горизонтальні поверхні (зверху вниз), що обумовлено температурно-влажностного режимом і умовами повітряної середовища, а також реологічними властивостями суміші [72, 113];

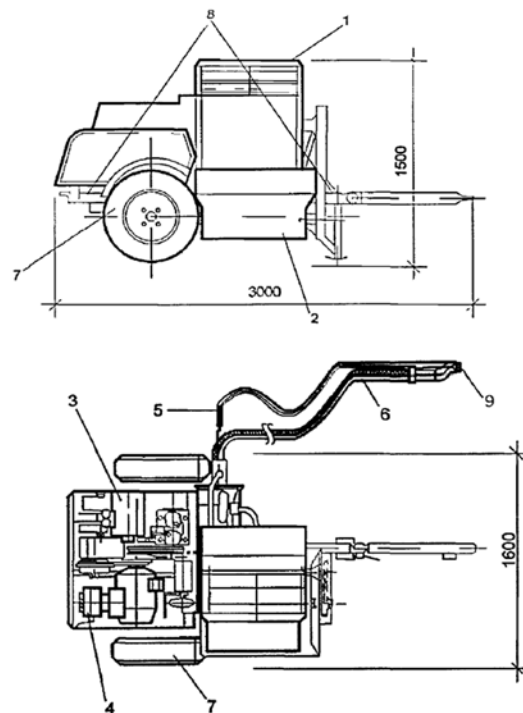


Рисунок 1.16 - Схема машини Р-13 для нанесення бетонної суміші:

1 - бетономішалка; 2 - бункер; 3 - насос; 4 - електрообладнання; 5 - повітропровід; 6 - матеріальний шланг; 7 - ходова частина;

8 - несуча рама; 9 - сопло

- при перервах в роботі перед нанесенням наступного шару поверхню раніше укладеного бетону повинна бути зволожена розпорошеною струменем води [I, ПЗ];

- кожний наступний шар наносять після закінчення \* схоплювання попереднього, а саме не менше ніж через 24 години [11,113];
- кількість шарів і товщина торкрет-бетонного покриття визначаються проектом.

Літературні джерела рекомендують різні відстані від вихідного отвору сопла до оброблюваної поверхні, причому в багатьох роботах рекомендовані відстані розрізняються залежно від методу торкретування.

Розглянемо рекомендації по відстані для сухого методу торкретування. В [113] вказується відстань 0,9 - 1,2 м для набризк-бетону, в [93] - 0,70 - 1,20 м для торкрету. В [114] і [104] рекомендована відстань 0,8 -

1,0 м, в [77] для набризк-бетону 0,7 - 1,5 м. У [78] обмежують відстань 0,95 - 1,0 м, в [42] воно становить 1,0 - 1,2 м. В іноземній літературі 0,6 -

1,0 м і незалежно від виду торкретування - 0,9 м [93]. Японська тунельна асоціація і Австрійська асоціація бетону рекомендують 1,0 - 2,0 м [93].

Розглянемо рекомендації по відстані для мокрого методу торкретування, яких небагато в порівнянні з сухим методом. В [11] зазначено 0,7 - 1,2 м, в [93] рекомендується 0,5 - 0,8 м, в [34] наводиться відстань 0,5 м. В іноземній літературі 0,2 - 0,5 м [93]. Японська тунельна асоціація і Австрійська асоціація бетону рекомендують 0,5 - 1,8 м [93].

В [17] і [85] вказується відстань 0,5 - 1,5 м для торкрету незалежно від виду торкретування.

Аналіз рекомендованих різними літературними джерелами \* меж варіювання відстаней показав, що більшість з них має занадто великий діапазон значень, а деякі джерела рекомендують зменшити відстань від сопла до оброблюваної поверхні. Такі неточності можуть відбитися на якісних характеристиках процесу торкретування, особливо-рекомендований мінімум 0,5 м [104] для торкретування другого і наступних шарів торкрету, а так само максимуми 1,5 м [17, 85] і 2 м [93]. Лише \* один літературний джерело вказує максимально точну відстань - 0,95 - 1,00 м [51].



Необхідно відзначити, що рекомендовані відстані нанесення ^ торкрет-бетону вказані в основному для торкретування вертикальних поверхонь.

В результаті огляду науково-технічної літератури з питань торкретування для подальшого дослідження автор вибрав мокрий метод виробництва торкрет-робіт. При проведенні досвідчених досліджень для нанесення торкретбетону на пневмоопалубку використовується торкрет-машина Р - 13, технічні характеристики якої відповідають реальним виробничим умовам, для яких автором будуть проводитися подальші експериментальні дослідження. При цьому для доставки бетонної суміші використовується гідравлічний метод транспортування бетонної суміші суцільним потоком за допомогою поршневого насоса з подачею повітря безпосередньо перед розпиленням, для нанесення ^ торкретбетону застосовується стандартне сопло з круглим перетином, призначене для торкретування горизонтальних поверхонь.

## **1.2 Вимоги до бетонних сумішей, які застосовуються для влаштування підливки під технологічне обладнання**

Одним з основних принципів технології торкретування бетонних сумішей на податливу пневмоопалубку є забезпечення необхідної міцності при одночасному зниженні відскоку матеріалу. Тому, в першу чергу представляють інтерес існуючі на сьогоднішній день наукові погляди про закономірності формування міцності показників-торкрет-бетону і вплив на цей процес основних технологічних факторів приготування і нанесення торкрет-бетону, в тому числі, і взаємодія торкретной струменя з пневмоопалубкой.

При постійних водо-цементному відношенні і гранулометричному складі міцність бетону визначається 'процесом структуроутворення: в роботі Д.М. Голіцинського і Я.І. Марен [42] пояснюється процес структуроутворення набризг-бетону з позицій фізико-хімічної механіки матеріалів, основним завданням якої є проблема спрямованого структуроутворення, тобто отримання для твердих тіл даного складу найбільшої міцності. Основним процесом, який

впливає на формування структури, є механічне пошкодження початковій рихлої структури бетонної суміші і забезпечення в наступний період якнайшвидшого набору міцності з найбільш повним використанням в'язкої речовини. За образним висловом академіка П. А. Ребіндера [98], «шлях до міцності лежить через руйнування». Відомо, що твердіння цементних бетонів відбувається шляхом кристалізації структуроутворення на основі первісної структури коагуляції в концентрованих суспензіях - дисперсних сумішах з порошку цементу і заповнювача з водою. Коагуляційні структури утворюються зчепленням частинок твердої фази через тонкі залишкові прошарку рідкої дисперсної середовища. Тому, міцність таких структур, обумовлена досить слабкими (вандерваальсовими) взаємодіями дуже мала в порівнянні з міцністю кінцевої кристалізаційної структури - щільного кристалічного зростка, що утворюється безпосереднім: зрощенням між собою кристалів гідрагних новоутворень; виділяються із'перенасищеного водного розчину. Для «отримання: щільного високоміцного бетону необхідно зруйнувати такі пухкі коагуляційні структури. Спираючись на викладену концепцію, запропоновану П.А. Ребіндером [98], можна «пояснити процес структуроутворення торкретбетону; наступним чином «Під дією вилітають: з. сопла зі швидкістю: 140 - 170 м / с зерен заповнювача ^ відбувається постійне трамбування, торкретбетону. В результаті пошарового трамбування під спільним: впливом механічних і фізико-хімічних воздействій- відбувається: руйнування слабких структурних: зв'язків; що виникають між дотичними частинками; цементного тесту в процесі його твердіння і віджимання зайвої води з це- ментной тесту, а добавки - прискорювачі схоплювання і «твердіння забезпечують швидке зростання початкової: міцності щільної- структури торкрет-бетону. Крім того; на думку ряду авторів [41, 42], при нанесенні; торкрет-бетону відбувається також «розпорошення цементних зерен», внаслідок чого «поверхню частинок цементних мінералів очищається від нальотів і, тим самим, зростає активність цементу» [50], що в свою чергу, прискорює процес структуроутворення цементного каменю, особливо в ранні терміни.

Більша увага вивченню процесу структуроутворення в ході ущільнення наноситься. Смесі приділено в роботі М.Г. Дюженка [53]. Виконані дослідження дозволили виділити найважливіший параметр, що визначає якість ущільнення, а, отже, і міцність конструкції. Таким параметром є відносна, глибина проникнення ДПР (відношення абсолютної глибини проникнення до поперечного розміру проникаючої частки), що визначається; формулою:

$$\Delta_{\text{пр}} \approx 0,52 \cdot K_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot v^2, \quad (1.1)$$

де  $K_{\text{пр}}$  - емпіричний коефіцієнт проникнення;  $\rho$  - щільність частки, кг / м<sup>3</sup>;  
 $V$  - швидкість частинки в момент удару об поверхню, м / с.

Встановлено, що оптимальне значення відносної! Глибини проникнення знаходиться в межах 0,65 - 0,80, що відповідає швидкості \* польоту зерна 50 ... 60 м / с.

Як видно з формули (1.1), відносна глибина проникнення залежить від властивостей матеріалу, виражених через емпіричний коефіцієнт, а також від кінетичної енергії частинки (швидкість і маса частинки). Цей вираз дозволило виробити основний принцип підбору раціональних сполучень технологічних параметрів при прогнозуванні міцності торкретбетону. Основний принцип підбору раціональних технологічних параметрів полягає в тому, що для отримання ідеального ущільнення та досягнення визначеної-міцності необхідно збільшувати енергію проникнення частинок до рівня, обмеженого здатністю суміші опиратися проникненню частинок в укладається шар. На основі розроблених в роботах М.Г. Дюженка [51, 52, 53] підходів до прогнозування міцності встановлено, що основними технологічними параметрами, найбільш істотно впливають на фізико-механічні властивості набризг-бетону, є: водо-цементне відношення; форма зерен і гранулометричний складу заповнювача; продуктивність компресора і швидкість вильоту матеріалу; відстань між соплом і бетонируемой поверхнею; кут нахилу сопла до торкретіруемой поверхні. За

дослідженнями М.Г. Дюженка, між міцністю  $y$ , Па і складом розчину ( $B / Ц$  відношення),  $x$  для набризк-бетону існує лінійна залежність у вигляді  $y = 458,2 - 89,2 \cdot x$ , що дозволяє говорити про значну зв'язку між цими змінними. Вплив швидкості руху матеріалу  $V$ , м / с на межу міцності при стисненні  $Y_c$ , Па може бути виражено нелінійною залежністю виду:

$$R_c = 16,714 + 11,925 \cdot v + 0,115 \cdot v^2, \quad (1.2)$$

В результаті експериментів встановлено, що оптимальна відстань між соплом і бетонируемой поверхнею одно 90 - 120 "см, а тиск повітря на виході - 0,10-0,13 МПа.

В'ходе спостереження, за процесом формування шару торкрет-бетону М.Г. Дюженка встановив, що збільшення \* інтенсивності: ущільнення призводить до зростання кількості відскакує матеріалу. У разі, якщо сила удару струменя торкрет-бетону буде занадто велика, то-на бетонируемой поверхні взагалі не може створюватися ніякого шару набризку-бетону, так як він буде безперервно руйнуватися струменем і відкидатися в сторони. На основі цього факту можна припустити, що спостереження за освітою відскоку можна використовувати для контролю за перебігом процесу уплотнення- торкретбетону і прогнозування його міцності властивостей.

Відскік являє собою сукупність часток, що утворилася в результаті пружних зіткнень знову підлітають піщинок з раніше укладеними і ще не покритими цементної плівкою. До одного з перших досліджень процесу освіти відскоку в ході торкретування в нашій країні слід віднести роботи С.І. Дружиніна і П.І. Глужге [50]. Виконані ними досліди дозволили визначити склад і вплив відскоку на міцність торкрет-бетону. Подальший розвиток роботи С.І. Дружиніна і П.І. Глужге отримали в дослідженнях Н.А. Агрязкова. У роботах Н.А. Агрязкова [8] порушувалося широке коло питань, касаючихся- фізико-механічних властивостей торкрету, застосовуваного обладнання, а також технології та організації торкретной робіт. Дано загальний висновок про вплив марки цементу на міцність торкрету, а також встановлено вплив на міцність

гранулометричного складу і форми зерен заповнення. Значний обсяг в роботах Н.А. Агрязкова займають дослідження зчеплення торкрету з іншими матеріалами, в тому числі з арматурою.

В роботі А.П. Шипілова [121], присвяченій опису процесу торкретування з теоретичних позицій було також розглянуто механізм утворення; відскоку. Торкретний струмінь автор розглядає, як що складається з безлічі летять частинок, змочених водою; удар яких об поверхню з некоторим шріблженієм ^ можна? уявити ^ як, зіткнення пружних кульове пружною недеформируемой поверхнею. У момент, удару частина води, що покриває частку, під дією сил інерції змочує невелику ділянку поверхні у точки контакту. Так як по поверхню води між торкретіруемой! поверхнею \* і вдаряє часткою матиме? форму меніска; то виникає утримує сила; викликана »поверхневим \* натягом води, яка стремітьсядержать частку на поверхні. Ця сила буде протидіяти силі: віддачі; виникає після удару.

Величину, що утримує сили автор рекомендує визначати, користуючись результатами дослідження, виконаного Г.І. Покровським [135]. На підставі цих досліджень впливає висновок, що в початковий, пров йод на торкретіруемой поверхні можуть утримуватися тільки дрібні частинки, тобто, в: основному, цементні.

У міру наслаіванія- зерен цементу і дрібних піщинок на поверхні утворюється суцільна елементарна плівка торкрету. З ростом товщини цієї плівки характер зіткненні великих частинок змінюється, переходячи з пружних в неупругие і, при достатній товщині плівки, настає момент, коли найбільші зерна піску здатні утримуватися на поверхні: З цього моменту процес набризга досягає усталеного режиму і 'супроводжується постійним кількістю відскоку . Причина відскоку - це пружні зіткнення знову підлітають піщинок з раніше укладеними і ще не покритими цементної плівкою. Відскік частини суміші неминучий; причому основна маса відскоку - це зерна піску з невеликою кількістю цементу.

На основі наведених теоретичних передумов А.П. Шипілов приходить до наступних висновків:

- а) отощеніє вихідної сухої суміші збільшує кількість відскоку;
- б) співвідношення цементу і піску в ТОРКРЕТ значно відрізняється від такого в сухої суміші.

В результаті обробки дослідних \* даних була отримана емпірична формула, яка виражає залежність складу торкрета<sup>1</sup> від складу вихідної цементно-піщаної суміші, а також формула, яка визначає кількість відскоку в залежності від співвідношення цементу і заповнювача:

$$O = \frac{C_c \cdot (P + 1) \cdot (T - \Pi)}{P - T}, \quad (1.3)$$

де: O - відскік в%;

C<sub>c</sub> - відсоток цементу в сухої суміші;

T - співвідношення пісок - цемент в сухої суміші;

P - співвідношення пісок - цемент в торкреті;

Π - співвідношення пісок - цемент в відскоку.

Таким чином, на підставі експериментальних досліджень, проведених А.П. Шипілова, встановлено, що відскік, як і ущільнення, визначені властивостями суміші, що дозволяє стверджувати, що ці два процеси взаємопов'язані.

Накопичення наукового досвіду про процеси торкретування дозволило отримати емпіричні залежності міцності матеріалу від основних технологічних параметрів, які можна використовувати в прикладних цілях. На рисунку 1.17 представлені залежності межі міцності при стисненні набризг-бетону і відскоку від поверхні, наведені Д.М. Голіцинського [42].

Сімейство цих кривих отримано в результаті визначення міцності торкрет-бетону при варіюванні досліджуваного технологічного параметра за умови, що інші технологічні параметри відповідають своїм раціональним значенням. На підставі виду представлених на рис 1.7 залежностей міцності і відскоку від цих

технологічних параметрів в якості критерію їх відповідності раціонального значенням можна прийняти максимальну інтенсивність відскоку при незмінному значенні досліджуваного параметра. Такий підхід відповідає обраному нами принципом підбору оптимальних параметрів нанесення торкрет-бетону, в основі якого лежить досягнення мінімального відскоку при максимально можливій інтенсивності ущільнення; Вид залежності міцності від: досліджуваного параметра дозволяє виділити: кілька ділянок; характеризуються якісними відмінностями в процесі укладання торкретбетону з: позицій забезпечення раціональних умов ущільнення.

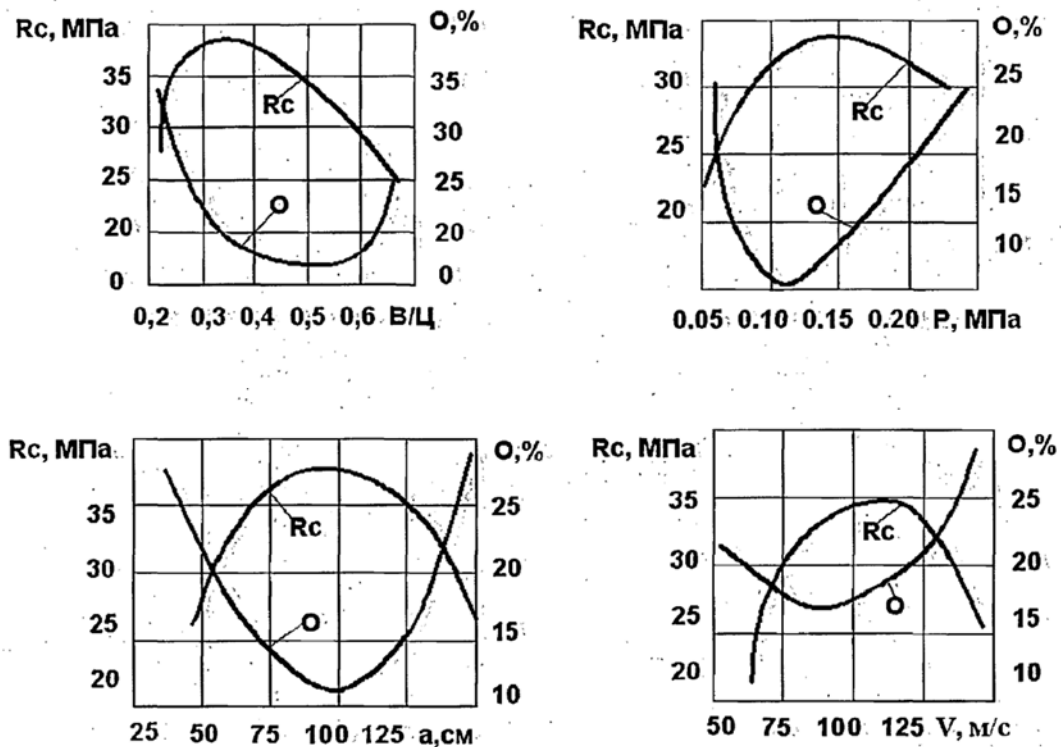


Рисунок 1.17 - Залежності міцності торкрет-бетону на стиск  $R_c$  і кількості відскоку  $O$ :

- а) від водоцементного відносини  $В / Ц$ ; б) від тиску повітря  $P$  в машині;  
в) від відстані між соплом і поверхнею; г) від швидкості вильоту сухої суміші  $V$

У початковій стадії сила зовнішнього впливу недостатня для повного використання можливостей матеріалу по опору проникненню частинок, у міру посилення цього впливу спостерігається прагнення графіка залежності  $R_c$  (дивись рисунок 1.17) до досягнення максимуму. По досягненню максимуму

залежність має тенденцію до зниження, що можна пояснити тим, що при перевищенні деякого оптимального рівня в результаті зовнішнього впливу починається розпушення структури торкретбетону, що негативно позначається на його кінцевої міцності.

Дослідженню ударного впливу струменя торкрет-бетону на міцність конструкції присвячена дисертаційна робота К.Ф. Абдуліна [6]. На підставі експериментальних досліджень (рисунок 1.18) він встановив регресійні залежності міцності зразків торкрет-бетону  $R_{сж}$ , Па від сили удару струменя об жорстку поверхню:

$$R_{сж} = 43,57 \cdot (1 - e^{-0,0063P}), \quad (1.4)$$

де  $P$  - сила удару струменя, Па.

З наведеної формули і графічні залежності випливає, що залежність має експонентний характер: спочатку міцність різко зростає, а при подальшому збільшенні сили удару вона практично не змінюється. Крім цього, К.Ф. Абдулін один з перших виконав у своїй роботі дослідження взаємодії торкретной: струменя: з нежорсткій поверхнею (грунтовим підставою).

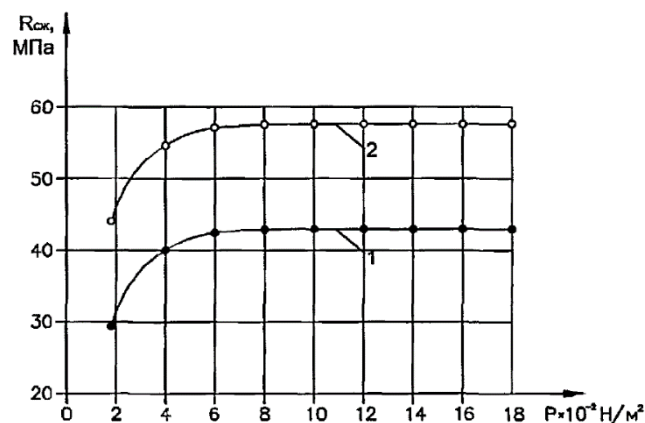


Рисунок 1.18 - Залежності міцності зразків торкрет-бетону  $R_{сж}$ , Па від сили удару струменя

Багато авторів науково-технічних робіт, рекомендують при нанесенні торкрета на поверхню встановлювати кут між поздовжньою віссю сопла і поверхнею.



В роботі Г.А. Пікус [93] встановлено, що при нанесенні торкретфібробетона на різні поверхні при відхиленні цього кута від  $90^\circ$  відбувається збільшення відскоку і зменшення щільності фибробетона. Зростання обсягу відскоку він пояснює тим, що при цьому виявляється ефект рикошету, який супроводжується зменшенням величини ударного імпульсу струменя.

А.А. Колосов в своїй роботі [74] виконав експериментальні дослідження міцності цементоасфальтобетона, отриманого методом торкретування. В результаті досліджень він встановив вплив швидкості вильоту суміші, з сопла і розстоянія сопла до оброблюваної поверхні на міцність дорожнього покриття (цементоасфальтобетона).

Питанням нанесення торкрету на пневмоопалубці присвячено значну кількість досліджень. В роботі В.В.-Єрмолова [60] сформульовані основні вимоги, яким повинні задовольняти матеріали, оболонки повітрянаповнених споруд, в тому числі і по їх міцності. Короткочасна міцність при розриві матеріалу першої групи має значення 40 - 60 кН / м, середньої групи 60 - 100 кН / м, важкої групи; - понад 100 кН / м.

А.А. Арзуманова [19] проведено дослідження по стійкості термопластикових матеріалів до образному зносу при торкретуванні; бетонної суміші і виміряні деформаційні характеристики матеріалів.

Л.В. Болотських [34] виконав фізико-математичне моделювання процесу взаємодії торкретної струменя з пружно-податливою поверхнею пневмоопалубки при нанесенні торкрет-бетону на вертикальну поверхню.

Визначивши на основі запропонованої фізико-математичної моделі взаємодії торкрет-бетонної струменя і пневмоопалубки чисельне значення оптимальної швидкості нанесення для фіксованого значення натягу пневмоопалубки, Л.В. Болотських у своїй роботі обмежив інтенсивність ущільнення для випадку застосування пневмоопалубки. Таким чином, вдалося врахувати вплив податливою опалубки на остаточну міцність конструкції.

На підставі аналізу наукових робіт можна зробити висновок, що міцність, конструкції визначається процесом структуроутворення в ході ущільнення торкрет-бетонної суміші. Встановлено, що про протікання ущільнення можна судити на основі спостереження за формуванням, відскоку. Для досягнення заданої міцності необхідно підібрати такі технологічні параметри процесу торкретування, які забезпечували б максимально можлива для даного матеріалу інтенсивність ущільнення при мінімальному відскоку. Встановлено, що у відомих на сьогоднішній день дослідженнях - недостатньо інформації про поведінку частинок розчину під впливом зовнішніх сил, особливо »в разі нанесення на горизонтальну поверхню пневмоопалубок. Для оптимізації технологічного процесу нанесення торкрет-бетону з точки зору »отримання заданої міцності, необхідно мати теоретично обґрунтовану та підтверджену досвідченим шляхом залежність між взаємодією пневмоопалубки з торкретной струменем і основними технологічними параметрами.

З Наведеної формули и графічні залежності впливає, что залежність має експонентній характер: спочатку міцність різко росте, а при подалі збільшенні сили удару вона практично НЕ змінюється. Крім цього, К.Ф; Абдулін один з дере виконан у життя без работе дослідження взаємодії торкретной: струменить: з нежорсткій? поверхні (грунтовым підставою). .

Многіе1 авторизованого науково-технічних робіт, рекомендуються при; нанесенні торкреташа поверхню встановлюваті кут между поздовжньому вісью сопла и поверхні нанесеніяфавнім-90?.

В работе Г.А. Пікус [93] встановлен, что при нанесенні торкретфіробетона на Різні поверхні при? відхилення цього кута від  $90^\circ$  відбувається Збільшення відскоку и Зменшення, щільності: фибробетона: Зростання ОБСЯГИ відскоку ВІН пояснює тім, что при цьом виявляється? ефект рикошету, Який; супроводжується Зменшення Величини ударного імпульсу струменить.

А.А. Колосов в життя без работе [74] виконан: експериментальні: дослідження міцності цементасфальтобетона, отриманий методом

торкретування. В результаті ДОСЛІДЖЕНЬ ВІН; ВСТАНОВИВ Вплив швидкості Вільота суміші, з сопла и расстояніяют сопла до оброблюваної поверхні на міцність дорожнього покриття (цементасфальтобетона).

Питанням нанесення торкрету на пневмоопалубці присвячено значну кількість досліджень. В роботі В.В.-Єрмолова [60] сформульовані основні вимоги, яким повинні задовольняти матеріали, оболонки повітрянаповнюваних споруд, в тому числі і по їх міцності. Короткочасна міцність при розриві матеріалу першої групи має значення 40 - 60 кН / м, середньої групи 60 - 100 кН / м, важкої групи; - понад 100 кН / м.

А.А. Арзуманова [19] проведено дослідження по стійкості термопластикових матеріалів до образному зносу при торкретуванні; бетонної суміші і виміряні деформаційні характеристики матеріалів.

Л.В. Болотських [34] виконав фізико-математичне моделювання процесу взаємодії торкретної струменя с. пружно-податливою поверхністю пневмоопалубки при нанесенні торкрет-бетону на вертикальну поверхню.

Визначивши на основі запропонованої фізико-математичної моделі взаємодії торкрет-бетонної струменя і «пневмоопалубки» чисельне значення оптимальної швидкості нанесення для фіксованого значення натягу пневмоопалубки, Л.В. Болотських у своїй роботі обмежив інтенсивність ущільнення для випадку застосування пневмоопалубки. Таким чином, вдалося врахувати вплив податливою опалубки на остаточну міцність конструкції.

На підставі аналізу наукових робіт можна зробити висновок, що міцність, конструкції визначається процесом структуроутворення в ході ущільнення торкрет-бетонної суміші. Встановлено, що про протікання ущільнення можна судити на основі \* спостереження за формуванням, відскоку. Для досягнення заданої міцності необхідно підібрати такі технологічні параметри процесу торкретування, які забезпечували б максимально можлива для даного матеріалу інтенсивність ущільнення при мінімальному відскоку. Встановлено, що у відомих на сьогоднішній день дослідженнях - недостатньо інформації про поведінку частинок розчину під впливом зовнішніх сил, особливо »в разі

нанесення на горизонтальну поверхню пневмоопалубок. Для оптимізації технологічного процесу нанесення торкрет-бетону з точки зору отримання заданої міцності, необхідно мати теоретично обґрунтовану та підтверджену досвідченим шляхом залежність між взаємодією пневмоопалубки з торкретной струменем і основними технологічними параметрами.

### **1.3 Влаштування бетонної підливи під великогабаритне промислове обладнання способом зачеканювання**

Зростання обсягів «монолітного» домобудівництва обумовлений, перш за все, значним зменшенням вартості будівництва, пов'язаних із заміною збірних \* залізобетонних конструкцій на монолітні. У той же час-трудомісткість виконання робіт в, монолітному будівництві, залишається досить високою.

Важливе значення в технології зведення монолітних залізобетонних конструкцій має застосування різних типів опалубок. В даний час застосовуються розбірно-переставні, блокові, ковзаючі і опалубки- облицювання (незнімні). Їх використання в будівництві пов'язано з великою трудомісткістю, значною матеріаломісткістю, низькими і, в кінцевому рахунку, суттєвими витратами в загальній вартості будівництва.

Аналіз техніко-економічних показників монолітних тонкостінних оболонок [20, 106] доводить їх ефективність, яка могла бути підвищена вдосконаленням всього комплексу виробництва опалубних, арматурних і бетонних робіт. Основний недолік монолітного залізобетону полягає в великому обсязі ручної праці, що досягає в ряді випадків 50%. Причому, значну частку цього обсягу ^ складають опалубні роботи. Досить сказати, що 35 - 45% загальних трудовитрат на зведення оболонок доводиться на опалубні роботи, а за вартістю - 15 - 25%. Необхідно було шукати шляхи вдосконалення опалубних форм, які дозволять застосовувати нові прогресивні матеріали для їх виготовлення, різко збільшити оборотність опалубки, підвищити рівень механізації опалубних і бетонних робіт.

Одним з перспективних напрямів удосконалення опалубних робіт є використання в якості опалубки для зведення монолітних конструкцій пневмонапружених систем. Область застосування пневматичних опалубок обширна - від зведення цивільних будинків, до опор мостів, протяжних споруд, купольних покриттів. Форми зводяться споруд надзвичайно різноманітні і пневматична \* опалубка швидко впроваджується в, практику зарубіжного і вітчизняного будівництва, так як використання пневмоопалубок дозволяє за рахунок застосування \* високоефективних і принципово \* нових конструкцій опалубних систем, в комплексі з сучасними засобами механізації ш автоматизації бетонних робіт, скоротити терміни будівництва, підвищити продуктивність праці і знизити трудомісткість.

Основними несучими елементами пневмоопалубок є, м'які оболонкові конструкції, формоутворення і стабілізація під навантаженням яких забезпечується за рахунок перепаду тисків. Пневмоопалубка виготовляється з матеріалів з малою згинальною жорсткістю у вигляді окремих плоских полотнищ, розкритих і з'єднаних певним чином. Освічені таким чином поверхні м'яких оболонок служать для відтворення своєї форми в будівельному матеріалі, наприклад, залізобетоні.

Застосування пневмооболочек як опалубок в поєднанні з комплексною механізацією укладання бетону дозволяє в значній мірі індустріалізувати зведення просторових конструкцій з монолітного залізобетону. Дослідно-експериментальні роботи з бетонування конструкцій із застосуванням пневмоопалубок показали, що цей метод дозволяє наблизити терміни зведення монолітних просторових конструкцій до збірних варіантів, значно зменшивши при цьому вартість споруди. Застосування пневмоопалубок підвищує якість бетонуваної поверхні, знижує витрати на подальшу доведення конструкцій, покращує умови і скорочує терміни витримування бетону, дозволяє зводити просторові конструкції оптимальної геометричної форми.

Пневматичні опалубки (пневмоопалубкі) представляють собою замкнуті герметичні оболонки, які за рахунок надлишкового тиску повітря, що

нагнітається всередину них повітря надають будується з їх допомогою залізобетонної конструкції необхідну форму.

Досить широке застосування пневматическіе'конструкції опалубок получили в СШАуКанаде; Франції Німеччини Японії: ВФоссії використання пневмоопал у бою почалося при будівництві тунелів, В гірничих виробках.

В даний час «найбільш широке застосування при зведенні» просторових конструкцій отримали опалубки двох типів :, повітряноопорні і воздуходнесомие [59, 60]. .

Воздуходнесомие (пневмокаркасных) конструкції - автономні (які не потребують підкачки) конструктивні елементи з високим (від 30 до 500 кПа) тиском повітря в їх замкнутому просторі.

Повітряноопорні конструкції працюють зовсім інакше. Їх оболонка просто «лежить» на повітрі, який не може вийти з-під неї. Для протидії зовнішнім «навантажень: надмірне, тиск повітря становить 0,1-0,4 Кіа і підтримується безперервної його» подачею вентилятором. Повітряноопорні оболонки кріпляться до опорного контуру (грунту) ілішрілегаюшій жорстким конструкціям. '

Функціональне відмінність між воздуходнесомимі і Повітроопірна конструкціями з точки зору практики полягає в тому, що перші є порівняно невеликими конструктивними елементами (балками, стійками, арками, панелями і), тоді як другі; настільки великі, що представляють собою цілу споруду. Звідси їх експлуатаційне відмінність - тиск повітря в корисному просторі, утвореному воздуходнесомимі конструкціями, трохи більше атмосферного, а під оболонкою повітряноопорні споруди значно перевищує його.

На рисунку 1.18 наведено класифікацію пневматичних конструкцій, найбільш повно охоплює, на наш погляд, існуючі різновиди пневмоопалубок [135].

За способом нанесення бетонної суміші розрізняють два види пневмоопалубок:

Воздухоподъемные Воздухоподъемные	Геометрические формы	Простые	
	Сложные	Собственные	
		Сложные	
	Личные (под заказ)		
	Усилить калит или ослабить	Облегчить	
		Усилить	
Воздухоносные Пустоты каменные	Стержни		
	Панели	Слитки	
		Изотропные	

Рисунок 1.18 - Классификация пневматических конструкций

- пневмо динамічна опалубка, яка закріплюється і розстел ається ^ в ^ рівні землі, потім, на неї укладається шар бетонної суміші, після чого опалубка напружується повітрям і наводиться в.проектное положення;

- пневмостатіческая опалубка, яка встановлюється, в проектне положення, а потім на неї укладається бетон. На відміну від пневмодинаміческой г опалубки, до якої в основному відносяться повітряноопорні конструкції, пневмостатіческая опалубка (пневмокаркасных конструкції) передбачає нанесення бетонної суміші методами торкретування або пневмонабризку [39].

Аналіз існуючого стану показав, що технологія зведення будівельних конструкцій торкретуванням з використанням пневматичних опалубок досить ефективна і здатна знизити трудомісткість опалубних робіт, а також скоротити терміни будівництва.

Нанесення торкретбетону на Повітроопірна пневмоопалубку було вперше здійснено в США ще в середині 30-х років двадцятого століття [135]. Бетонна, суміш укладалася за допомогою цемент-гармати поверх надутим пневмоопалубкі при зведенні житлових будинків, складських приміщень, зерносховищ (рисунок 1.19) [30, 102, 134, 139]. Споруди відрізнялися великою міцністю і складалися з багат шарових оболонок, що виконують функцію стін і покриттів.

У нашій країні в 50-х роках інженер А.Е. Лопатто [5, 59] запропонував, теоретично обґрунтував і практично перевірів спосіб зведення вспаруш- них плит міжповерхових перекриттів з використанням линзообразной пневмооболочки опалубки, натягнутої на металеву раму. Торкрет-бетон укладався по плетених сітці шаром 10-15 мм кільцями від стіни до центру. Після затвердіння нанесеного шару торкрет-бетону на нього вкладалися арматура і основний бетон плити.

Виготовлення збірних залізобетонних конструкцій (резервуарів, елементів збірних прохідних каналів і ін.) Із застосуванням повітрянаповнюваних опалубок було організовано під керівництвом Е.Л. Майлера [79] за розробленою ним технології зведення конструкцій в закритих приміщеннях. Суть нового методу



полягала в наступному. Армокаркас бочкоподібного резервуара виготовлявся з вертикальних і горизонтальних стрижнів діаметром 6-8 мм. Пневмоопалубка подавалася всередину арматурного каркаса і наводилася в проектне положення створенням надлишкового тиску. Потім на неї зовні наносився торкрет-бетон.

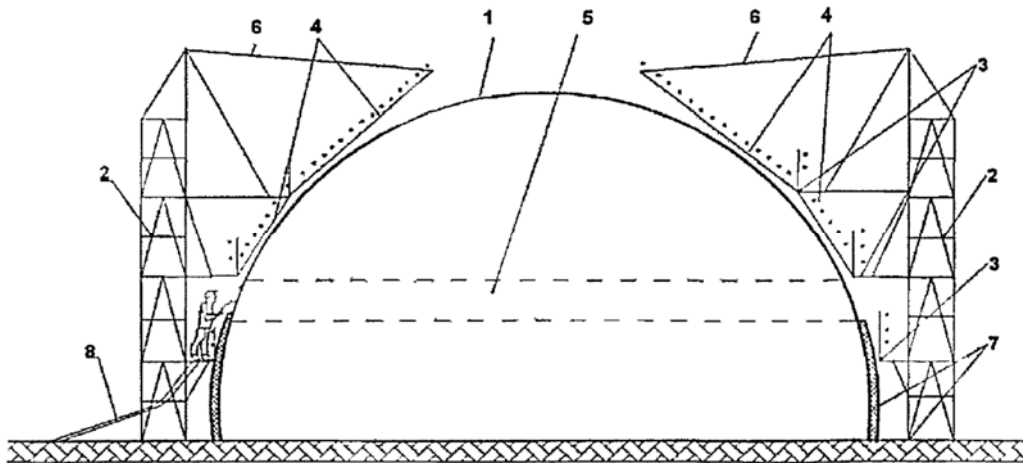


Рисунок 1.19 - Зведення купола на надувний пневмоопалубке

1 - пневмоопалубка з укладеною арматурою; 2 - щогли по периметру купола; 3 - робочі площі; 4 - переносні драбини; 5 - наноситься за допомогою цемент - гармати шар торкрет-бетону; 6 - канат; 7 - затверділий торкрет-бетон;  
8 - матеріальні шланги

У зв'язку з тим, що в 60-ті роки двадцятого століття великий споживчий інтерес представляли конструкції будівель, прямокутних в плані, радянськими вченими були запропоновані способи зведення за допомогою надутим опалубки хвилястих склепінь. Такі конструкції мають двояку кривизну, побудовані методом торкретування поверхні і відрізняються великою міцністю.

Хвилясті склепіння і методи їх зведення було запропоновано Ю.А. Павловим, Ю.В. Чуровим і В.В. Беспаловим [31], А.С. Арзуманова [22].

У 1967 - 1978г.г. за кордоном було зведено велику кількість житлових і громадських купольних будівель діаметром 8м пневмобетонірованієм по Повітроопірна, опалубці в два шари, [91]. У нашій'стране А.С. Арзуманова вперше запропоновано бетонувати оболонки по \* надутим пневмоопалубке в один шар. Теоретично і експериментально він довів, що пневмоопалубка має

несучу здатність, достатню для сприйняття тиску від пневмобетонірованія [21]. Під керівництвом В.В. Беспалова було забетоновано грандіозне купольне покриття діаметром 32м. Купол зводився горизонтальними кільцями висотою 1,5 - 2 м методом набризку на пневмоопалубку бетонної суміші з дисперсним армуванням [22].

Методи будівництва споруд за допомогою повітрянаповнюваних опалубок проводилися в нашій країні вченими та інженерами: А.С. Арзуманова, Б.І. Петракова, В.В. Беспаловим; В.В. Єрмоловим і ін. [21, 30, 62, 63, 92].

Воздухоопорний вид опалубки займав більш значне становище в промисловому будівництві в порівнянні з воздухонесомим, так як вони використовувалися при будівництві будівель з невеликими прольотами (до 9м). Однак повітряноопорні конструкції пневматичних опалубок мають ряд суттєвих недоліків [73, 136]:

- можливість зведення тільки однотипних конструкцій, так як вони виготовляються на весь об'єкт повністю;
- високі експлуатаційні витрати за рахунок безперервної подачі повітря в опалубних систем;
- висока питома витрата резино-тканинних матеріалів на 1м<sup>2</sup> бетонної поверхні.

За останні роки в нашій країні набули поширення повітро несомих (пнемокаркасные) конструкції, застосування яких в значній мірі дозволяє усунути перераховані вище недоліки Повітроопірна опалубки. Використання пнемокаркасных конструкцій в якості опалубок будівельних елементів відносно невеликих прольотів дозволило намітити шляхи підвищення ефективності їх використання. Застосування пневматичних каркасів невеликого прольоту (6-9 метрів) сприяло зниженню вимог щодо герметичності, так як вони відчували менші експлуатаційні впливу а, отже, створювалося менше надлишковий тиск в робочому об'ємі пневматичного каркаса [21]. До того ж, опалубка використовується під тиском дуже короткий відрізок часу, обумовлений часом набору необхідної міцності.

Пневмокаркасні опалубні системи комплектуються з окремих пневматичних модулів (рисунок 1.20). Сполучені між собою кілька модулів дозволяють зводити конструкції, що мають різні розміри в плані, а також споруди різної конфігурації. Їх можливо на будівельному об'єкті переставляти з одного захватки на іншу в процесі бетонування, що знижує матеріаломісткість робіт в перерахунку на 1 м<sup>2</sup> бетонируемой поверхні.

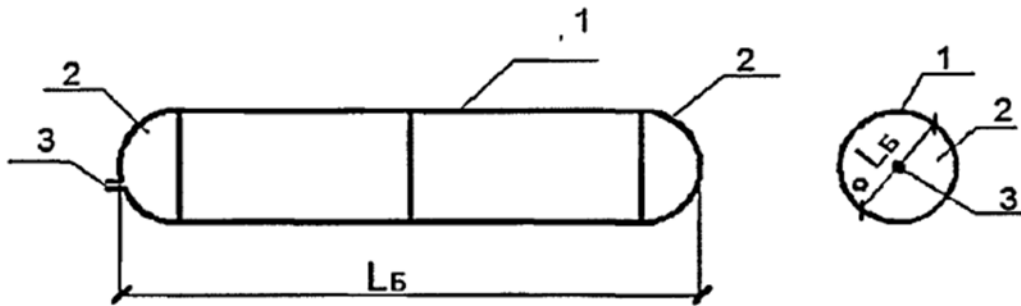


Рисунок 1.20 - Схема пневмокаркасного модуля

1 - робоча, поверхня, 2 - торці, 3 - ніпель

Схема пневмокаркасного модуля. Можливе застосування модульної пневмокаркасної опалубки при зведенні «пролітних конструкцій, наприклад плит покриття (рисунок 1.21) [106]. Модулі укладають на готові ділянки стін, скріплюючи між собою. Проводять монтаж нижніх і верхніх арматурних сіток. З'єднують випуски арматури зі стін з арматурою плити покриття. Після набору бетоном необхідної міцності тиск в пневмоелементах скидають і витягують з перекриття через бічні отвори.

У 1990 році спільними зусиллями інженерів Воронежського і Ленінградського інженерно-будівельних інститутів під керівництвом А.С. Арзуманова, Г.М. Бад'їн і ін. [35] була розроблена пневмоопалубка, що складається з циліндричних пневмокаркасних модульних систем, одночасно грають роль несучих елементів і робочої палуби (рисунок 1.22). Відмінною особливістю таких пневмоопалубок-перекриттів - можливість зведення монолітних перекриттів на різних висотних відмітках.

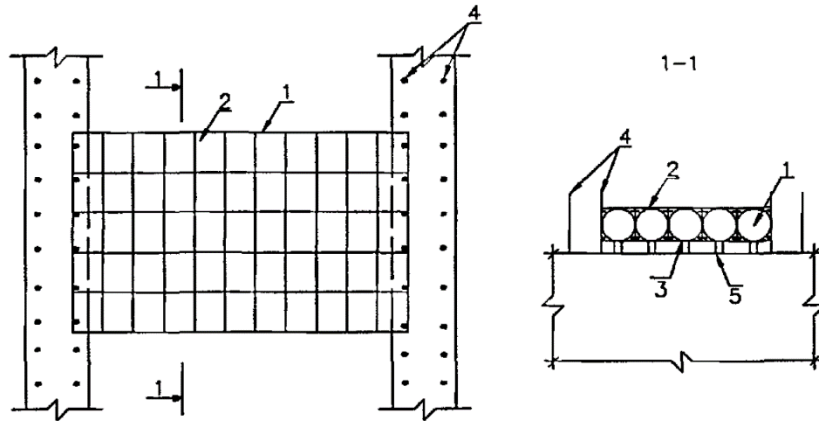


Рисунок 1.21 - Схема виконання робіт при бетонуванні пролітних конструкцій: 1 - пневмомодуль, 2 - верхня арматурна сітка, 3 - нижня арматурна сітка, 4 - випуски арматури з стіни, 5 – підкладка

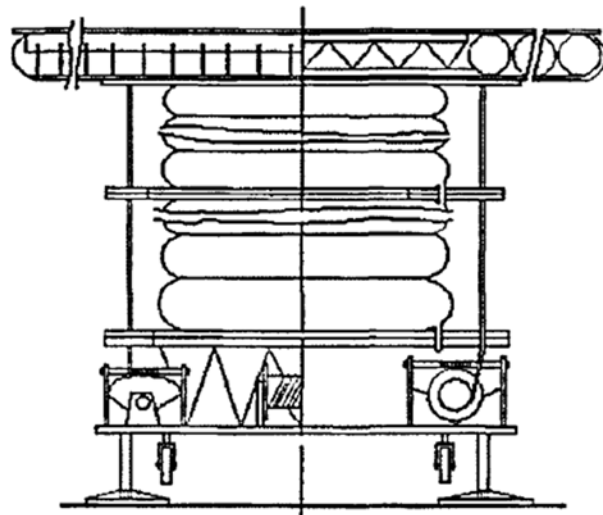


Рисунок 1.22 - Пневмоопалубка перекриттів

Іншим прикладом може служити пневмокаркасна модульна опалубка для бетонування перекриттів (рисунок 1.23), розроблена в 1981 році інститутом «Донецький ПромбудНДІпроект».

Опалубка містить підтримуючу конструкцію, що складається з порталу, опорних ферм (1), скріплених поверху покладеним жорстким настилом (2). По ньому вздовж споруджуваної конструкції покладені гумові балони (3). Як

формує елемента використаний податливий металевий щит (4). Змінюючи величину тиску в кожному окремо взятому балоні отримують різні геометричні форми конструкції покриття.

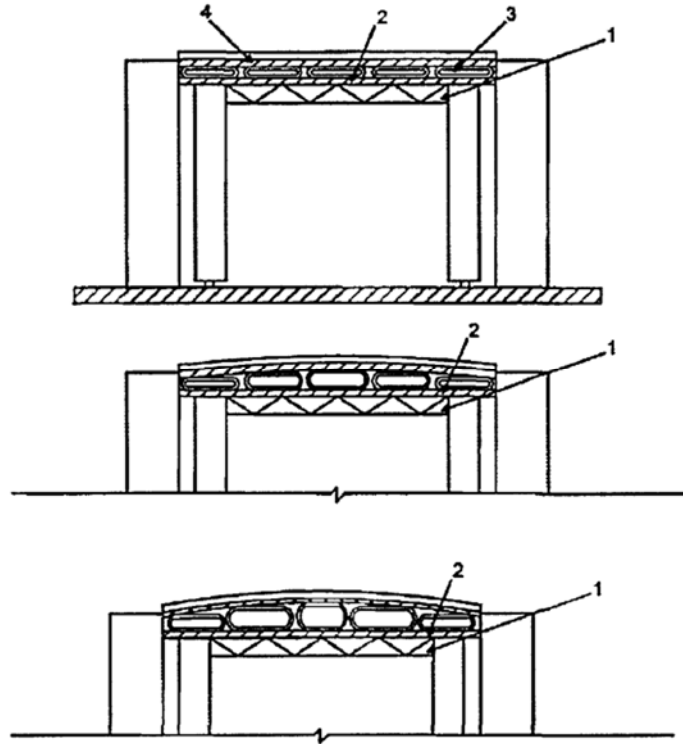


Рисунок 1.23 - Опалубка для бетонування перекриттів  
1 - опорні ферми; 2 - жорсткий настил; 3 - гумові балони;  
4 - металевий щит

Таким чином, в результаті аналізу існуючих видів пневмоопалубки і досвіду їх застосування в будівництві була встановлена ефективність застосування пневмокаркасних опалубок для зведення великопрольотних будівельних конструкцій.

Окремі модулі пневмокаркасних опалубок характеризуються уніт кальношлегкістю і предельной- компактністю в складеному? вигляді. Вони можуть легко перевозіться- транспортом і: в будь-яких умовах монтуватися: В найкоротші; терміни; вимірювані годинами; бригадою робітників вони? собіраються- в проектне: стан без? використання / будь-яких важких допоміжних

пристосувань ^ обладнання; утворюючи просторові конструкції; оригінальних архітектурних форм. Померене необхідності достаточна зборка опалубки лише тільки для певної частини споруджуваного / споруди з послідуєщою- можливістю, її перестановки на чергові захватки в процесі укладання, і витримування бетонної суміші; Це дозволить значно знизити матеріаломісткість опалубного форми в перерахунку на площу бетонуємої конструкції.

. Перспективно застосування пневмомодулей каркасних опалубок при зведенні: паль - оболонки в водонасичених грунтах, що володіють малою несучою здатністю; фундаментів різного призначення; і підпірних стін? в умовах скельних підстав; огорожувальних конструкцій різних конфігурацій; конструкцій покриттів і перекриттів, прогонових споруд:

Порівняно невеликі розміри модульних елементів пневмокаркасних опалубок дозволяють в якості матеріалів для виготовлення використовувати не тільки традиційні прогумовані тканини; термоткані, склотканини; армовані плівки та ін., але і інші - листи, тонкої / фанери, оргаліт, лита гума тощо Дослідження умов застосування різних тканин для пневмоопалубок виконані А.А. Арзуманова; [19].

Таким чином, застосування модульних пневмокаркасних опалубок дозволить зводити монолітні споруди, максимально приблизені по геометричній, формою до розрахункової, а так, же поліпшити якість укладеного бетону, значно скоротити витрати праці і вартість, робіт, підвищити оборотність опалубних форм.

Поєднання в рекомендованому методі способу пневмобетонірованія з принципом зведення <споруд на пневмоопалубке добре піддається комплексної механізації робіт, автоматизації, роботизації і застосування маніпуляторів, що сприяє значному скороченню ручної праці.

Дослідження в області проектування і експлуатації пневматичних повітряноповнюваних опалубок проводилися в нашій країні в стінах МАР- XI, ЦНІІСЬК ім. В.А. Кучеренко, ВІТУ (г. Санкт - Петербург), ВГАСУ. Необхідно

відзначити внесок в теорію і практику пневматичних опалубних систем, внесений вітчизняними фахівцями С.Б. Вознесенським М.І. і Петровніним [92], А.С. Арзуманова [20].

Вирішенню завдань по визначенню напружено-деформованого стану оболонки присвячені роботи В.І. Усюкіна [121, 122], В.Я. Магула [80], С.А. Огая, І.Б. Друзя [87] та інших фахівців в області теорії-м'яких оболонок.

А.С. Арзуманов виконав великий обсяг теоретичних і експериментальних досліджень з розробки технології зведення тонкостінних просторових конструкцій шляхом вивчення технологічних режимів експлуатації пневмоопалубок в процесі виробництва робіт і визначення закономірностей, що забезпечують геометричну незмінність пневмоопалубочної форми при функціональній адекватності її аналогам з жорстких матеріалів. Значну увагу А.С. Арзуманов приділив розробці математичних моделей трансформації повітрянаповнюваних пневмоопалубок при різних параметрах технологічного процесу зведення конструкцій, визначення впливу фізико-механічних характеристик гумовотканинних матеріалів на знос і оборотність пневмоопалубок [20].

Д.А. Казаков провів дослідження пневмокаркасних опалубних систем з урахуванням впливу конструкційних з'єднань [70], дослідження натягу тканини пневмомодуля і виявив раціональне співвідношення сил натягу в поздовжньому і поперечному напрямках при внутрішньому надлишковому тиску до 50 кПа: сила натягу уздовж шва (поздовжня) повинна бути в 2 рази менше кільцевої (поперечної) сили натягу. Це співвідношення необхідно використовувати в ході подальших експериментальних досліджень.

Питання вдосконалення технології зведення тонкостінних монолітних конструкцій на гріючої пневмоопалубке в зимових умовах досліджені в роботі А.Н. Ткаченко [116]. При цьому автором було вивчено вплив експлуатаційних температур на деформативність резино-тканинних матеріалів.

В роботі Л.В. Болотських [34] проводилися експериментальні дослідження ряду параметрів при взаємодії торкретной струменя з поверхнею

пневмоопалубкі. В результаті цих досліджень було встановлено, що максимальна міцність торкрет-бетону досягається при лінійному натягу матеріалу пневмоопалубкі, характерному для пневмокаркасних опалубок. Виходячи із завдань дослідження, які сформувалися в ході огляду існуючого наукового досвіду, можна зробити висновок, що нас буде цікавити реакція пневмоопалубкі, напружений стан якої за кількісними характеристиками ближче до пневмокаркасних опалубки.

У зв'язку з вищесказаним, при подальших дослідженнях і призначення кордонів досліджуваних параметрів при дослідних випробуваннях будемо виходити з того, що практичні результати нашої роботи застосовні для опалубок воздуонесомого типу.



## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОННОЇ ПІДЛИВКИ ПІД ПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Організація та методика проведення експерименту з влаштування підливання під промислове великогабаритне обладнання

Виконані в цій галузі дослідження пов'язані з вивченням фізико-механічного процесу торкретування і технологією набризга, що здійснюється в основному стосовно до укладання бетонної суміші на жорсткі поверхні. Б.Т. Грязнов [44] зробив висновок про можливість застосування при торкретуванні як опалубок тканини, натягнутої на металеву раму. В'язі з тим, що пневмокаркасні конструкції є свого роду мембраною, то ця умова може бути застосовано і до них. .

Б . Г. Грязнов вивів формулу для розрахунку швидкості матеріалу в перерізі трубопроводу або сопла:

$$v_m = (v - v_m^0) \cdot \frac{\zeta_x}{\mu + \zeta_x} + v_m^0 \quad (2.1)$$

де:  $v$ ;  $v^0$  - швидкість повітря і матеріалу в перерізі;

$v_m^0$ - швидкість матеріалу в попередньому перерізі; '

$\rho$  - вагова концентрація матеріалу;

$Z$  - коефіцієнт лобового опору частинок на розглянутому, ділянці труби (сопла); .

Для ваговій концентрації існує вираз:

$$\mu = \frac{\rho_m}{\rho} S \quad (2.2)$$

де  $\rho_r$  - щільність переміщуваного матеріалу (приймаємо 2000 кг / м<sup>3</sup>) ;

$\rho$  - щільність транспортує повітря при атмосферному тиску  $\rho = 1,2$  кг / м<sup>3</sup>;

$s$  - відношення обсягу твердих частинок до обсягу аеросуміші (приймається 0,02 для торкрет-установок).

Для знаходження коефіцієнта лобового опору використовується наступна формула:

$$\zeta = \frac{S_{mi}}{F_0} / \left(1 - \frac{S_{mi}}{F_0}\right) \quad (2.3)$$

де  $i$  - порядковий номер даного тіла;

$S_{mi}$  - площа перерізу тіла; .

$F_0$  - площа труби;

На підставі цих припущень був зроблений розрахунок швидкостей вильоті, результату якого зведені в таблицю 2.1.1.

Таблиця 2.1.1 - Розрахункові значення швидкостей вильоту торкретної суміші

Продуктивність установки, м <sup>3</sup> / г	Діаметр вихідного отвору сопла, мм	Швидкість подачі бетонної суміші по шлангу, м / с	Швидкість подачі бетонної суміші в перетині сопла, м / с	Швидкість вильоту, м / с
1	2	3	4	5
9	30	2,6	3,54	3,72
	20		7,95	8,46
	10		31,8	42,78
5	30	1,44	1,96	2,1
	20		4,4	4,9
	10		17,64	32,45
2	30	0,58	0,79	1,2
	20		1,77	2,34
	10		7,12	24,86

Існують і інші моделі процесу нанесення розчинних сумішей. Дослідження С.П. Єгорової [58] засновані на виділенні частки розчину, що рухається в суцільний струмені потоку, спрямованого уздовж горизонтальної лінії при розташуванні форсунки по відношенню до горизонталі під кутом (рисунок 2.1).

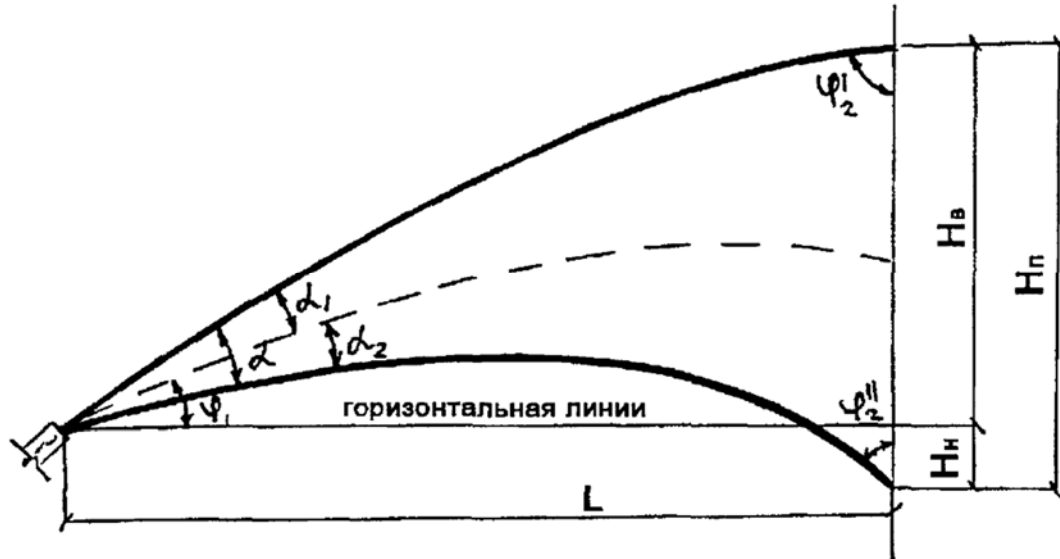


Рисунок 2.1 - Схема траєкторії польоту струменя розчину

1 - верхня межа струменя; 2 - нижня межа струменя

Значення швидкостей підльоту до поверхні, отримані в роботі Єгорової С.П. і відповідні верхню та нижню межу факела, визначаються за формулами:

$$V_2' = \sqrt{V_1^2 \cos(\varphi_1 + \alpha_1)^2 \cdot 0,929 + \left[ V_1 \sin(\varphi_1 + \alpha_1) - \frac{gL}{V_1 \cos(\varphi_1 + \alpha_1) \cdot 0,964} \right]^2} \quad (2.4)$$

$$V_2'' = \sqrt{V_2^2 \cos(\varphi_1 + \alpha_2)^2 \cdot 0,929 + \left[ V_1 \sin(\varphi_1 + \alpha_2) - \frac{gL}{V_1 \cos(\varphi_1 + \alpha_2) \cdot 0,964} \right]^2} \quad (2.5)$$

Знаючи значення швидкостей вильоті, на підставі теоретичної моделі руху частинок розчину, запропонованої С.П. Єгорової, Л.В. Болотських виконав розрахунок [34] геометричних параметрів торкретної факела і значення швидкостей підльоту до поверхні нанесення, провів фізико-математичне моделювання процесу взаємодії торкретної струменя з упругоподатливою поверхнею пневмоопалубки при нанесенні торкрет-бетону на вертикальну поверхню.

При розробці моделі взаємодії торкретної струменя з податливою поверхнею пневмоопалубки приймалося; що в момент нанесення торкрет-бетону опалубка відчуває тиск струменя, на сприйняття якої вона повинна бути розрахована. Для визначення сили впливу торкретної струменя на плоску вертикальну стінку використаний закон збереження кількості руху, згідно з яким зміна кількості руху в одиницю часу має дорівнювати сумі проєкцій зовнішніх сил на яку-небудь вісь, що діють на розглянуту масу. На рисунку 2.2 позначені

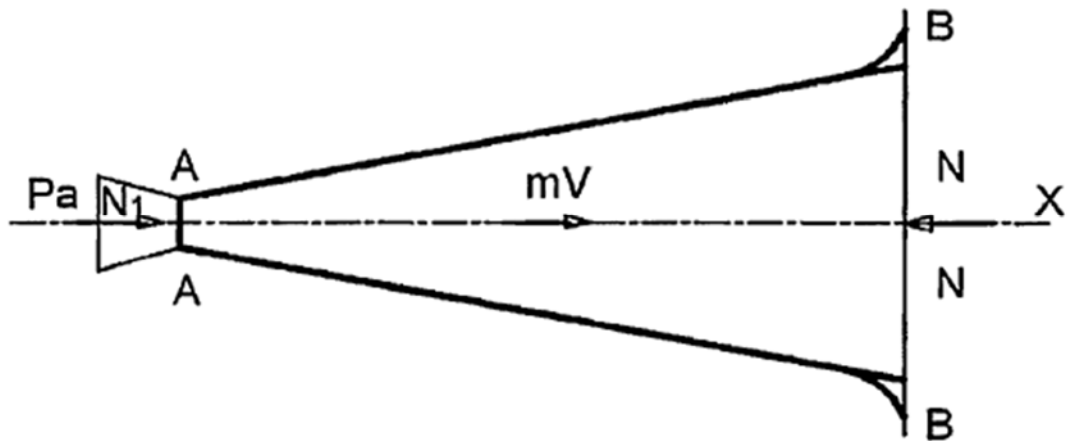


Рисунок 2.2 - Схема розподілу сил в струмені торкрет-бетону  
 А - А - перетин вихідного отвору; В - В - перетин поверхні пневмо-  
 опалубки; N - реакція вертикальної стінки; N1 - величина сили тиску  
 струменя торкрет-бетону на виході з сопла

зовнішні сили, що діють на торкретної частку одиничної маси, що знаходиться на осі факела торкрету. Зміна кількості руху розглянутої маси  $pt$  в одиницю часу в проєкції на вісь X дорівнюватиме  $tu$ , так як в перерізі В - В швидкість  $U_x = 0$ . Зовнішні сили складаються з реакцій вертикальної стінки N і сили тиску N1 в перерізі А - А:

Для величини N1 в перерізі А - А справедлива формула:

$$N_1 = F_c \cdot (P_a - P), \quad (2.6)$$

де  $P_a$  - тиск в соплі, Па;

P - атмосферний тиск, Па;

$F_c$ - площа поперечного перерізу вихідного отвору сопла, м<sup>2</sup>.

Рівняння проєкцій на вісь X сил і кількості руху має вигляд:

$$m \cdot V = N - N_1, \quad (2.7)$$

Оскільки в роботі [34] приймалося, що відскік матеріалу не матиме місце у разі застосування пневматичної опалубки, то енергія частинки повинна гаситися енергією прилипання, розраховується за формулою:

$$E_{np} = k \cdot E_0 = (1 - \alpha) \cdot E_0, \quad (2.8)$$

При цьому,  $\alpha E_0$  - частина кінетичної енергії, що витрачається на пружне повернення системи «торкрет-частинка-пневмоопалубка» в положення рівноваги. Енергія  $\alpha E_0$  дорівнює потенційної енергії пружних сил взаємодії частинки з поверхнею, представленій в ідеалізованій формі у вигляді струни.

В роботі [34] приймається допущення, що обурення струни має форму рівнобедреного трикутника (рисунок 2.3).

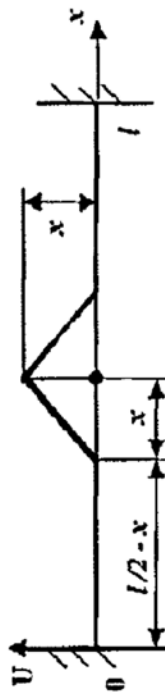


Рисунок 2.3 - Початкове положення коливання струни

В даному випадку, для розрахунку характеристики струни  $a$ , рівній швидкості в момент пружного взаємодії, лінійне натяг розраховується з деяким коректуванням:

$$T' = T + \frac{m_3 \cdot v_1}{2 \cos 45^\circ}, \quad (2.9)$$

Елементарна маса торкретної частки розраховується за формулою:

$$m_{эл} = \frac{Q_i \cdot \rho_1}{3600 \cdot F_i}, \quad (2.10)$$

де  $Q_i$  - продуктивність торкрет-машини, м<sup>3</sup> / год;

$\rho_1$  - щільність бетонної суміші, яка приймається 1850 кг / м<sup>3</sup>;

$F_i$  - площа плями бетонування з товщиною шару 0,01 м.

Таким чином, в результаті аналізу фізико-математичних моделей процесу нанесення розчину і торкрет-бетону на вертикальну поверхню (жорстку і деформується) встановлено такі основні технологічні параметри цього процесу:

- продуктивність нагнетательной машини  $Q$ ;
- діаметр вихідного отвору сопла,  $D$ ;
- відстань від площини вихідного отвору сопла до оброблюваної поверхні,  $H$ ;
- сила натягу гнучкої пневмоопалубки;
- кут нахилу сопла до торкретіруемой поверхні;
- діаметр плями торкрет-бетону на оброблюваної поверхні.

Ці параметри істотно впливають на міцність бетону, нанесеного на оброблювану поверхню.

## **2.2 Обґрунтування вибору пристрою підливки під обладнання методом безперервного, додаткового вібраційного впливу**

Використання пневматичних опалубок статичного типу, передбачає торкретування бетонної суміші, на лицьову, поверхню опалубки. При цьому

взаємодія торкрет-струменя з податливою поверхністю опалубки, має суттєвий вплив на якість бетонних і залізобетонних будівельних конструкцій споруджуваного споруди.

Оптимізація технологічних параметрів, нанесення суміші з позиції отримання проектних характеристик бетону раціональна при «використанні математичної моделі, яка описує даний процес.

У розділі 1.2 встановлено, що при формірованні міцності властивостей торкрет-бетону, визначальним є ущільнення. З урахуванням того, що про процес ущільнення можна судити на основі зміни в інтенсивності відскоку, що розробляється-ідеальна; модель відображає механізм ^ освіти відскоку при взаємодії торкрет-бетонної струменя і пневмоопалубки.

При підборі параметрів ідеалізованої моделі ми виходили з прагнення встановити їх взаємозв'язок з макроявлення, спостереження за, якими дозволяло б прогнозувати результат з точки зору забезпечення заданої міцності. Як відомо [35], міцність торкрет-бетону визначається процесом ущільнення, який пов'язаний зі ступенем проникнення частинок в залежності від їх форми, запасу кінетичної енергії і властивостей в'язкої середовища. Згідно з існуючими уявленнями [42], відскік бетону від торкретіруемой поверхні утворюється в результаті зіткнень підлітають частинок з укладеними при переході кінетичної енергії підлітають частинок в енергію трамбування. У зв'язку з цим вважаємо, що відскік може бути розглянутий як критерій поведінки в'язкої середовища при ущільненні. Таким чином, досліджуючи залежність відскоку від технологічного параметра можна встановити зв'язок між міцністю і цим параметром.

Наявність ефекту відскоку є очевидним при нанесенні торкретбетону на вертикальну поверхню [34]. При такому бетонірованні в нижній частині опалубного поверхні відбувається накопичення частинок; скинутих, за рахунок її коливань. При нанесенні на горизонтальну поверхню відскік частинок торкрет-бетону відбувається дещо інакше: що відкидаються від поверхні частки переміщуються на периферію плями бетонування і залишаються в тілі бетону

(утворюючи так званий «невидимий» відскік) впливаючи на якість ущільнення і, як наслідок, на його міцність.

В даний час механізм переміщення торкрет-бетону від сопла до поверхні нанесення вивчений недостатньо. У нашому уявленні потік торкрет-бетону йде не4 окремими частинками, а порціями, великими конгломератами, проте описати цей процес поки не представляється можливим. Тому, абстрагуючись, будемо вважати, що до поверхні підлітає окрема частинка з певною кінетичної енергією.

В роботі [34] запропоновано відскік зв'язати з співвідношенням швидкостей поворотного руху поверхні пневмоопалубки ( $v_2$ ) і швидкості підльоту частки торкрет-струменя до поверхні торкретування ( $v_1$ ):

$$\xi = v_2/v_1.$$

Величина швидкості  $v_1$  викликає прогин матеріалу пневмоопалубки і чим він більший, тим вище швидкість повернення тканини в нормальний стан і тим більше відскік.

У ідеалізованої моделі в нашій роботі замість просторових коливань поверхні пневмоопалубки розглядаються плоскі коливання тонкої смуги цієї поверхні (струни) Такий підхід до подання гнучкої поверхні пневмоопалубки неодноразово використовувався в теоретичних моделях.

Взаємодія частки з поверхнею опалубки описується за допомогою відомої математичної теорії малих коливань струни [48, 109]

Розглядаючи одиночну частку, підлітає до струни і має деяку кінетичну енергію  $E_k$ , визначимо обурення струни часткою. Будемо припускати, що за рахунок енергії частинки, переданої струні, остання відхиляється від положення рівноваги і приймає деяку форму.

Завдання про форму відхилення струни не має чіткого рішення в рамках класичної теорії малих коливань, незважаючи на-існування безлічі різних «ідеальних» її рішень [115].

Взаємодія частки з поверхнею опалубки описується за допомогою математичної теорії малих коливань струни:



$$u_{tt} = a^2 \cdot u_{xx} \quad (2.11)$$

де  $u$  - відхилення будь-якої точки струни від горизонталі в довільний момент часу  $u(x,t)$

$a$  - швидкість руху хвилі по струні,  $a^2 = T_0 / \rho$ ;

$T_0$  - натяг струни;

$\rho$  - лінійна щільність струни.

Передбачається, що за рахунок енергії частки струна відхиляється від положення рівноваги і приймає деяку форму. Використовується «згладжена» модель обурення: береться затиснена з двох сторін струна і виробляється вплив на її центральну частину кінетичною енергією підлітає частки. Основною гіпотезою є припущення про нульових швидкостях всіх точок струни, що знаходиться в возмущеному стані.

Приймаємо початкові умови

$$\begin{cases} u(x, 0) = \varphi(x), \\ u_t(x, 0) = 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

і граничні умови  $u(0, t) = 0$ ,  $u(l, t) = 0$ .

Вирішується 1 - я крайова задача для відомого рівняння коливань струни [115]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2.13)$$

На основі розкладу розв'язування задачі (2.11 - 2.13) в кратний ряд Фур'є

$$u(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos \frac{ak\pi t}{l} \sin \frac{k\pi x}{l}, \quad (2.14)$$

можна вивчати коливання струни і, зокрема, обчислювати швидкості руху її окремих точок.

Можна використовувати також підхід Даламбера [48, 108, 114], відповідно до якого рішення (2.13) завдання (2.11) - (2.13) має при довільній початковій формі  $i = \varphi(x)$  вид суми двох розбігаються хвиль:

$$u(x, t) = \frac{\varphi(x+at) + \varphi(x-at)}{2}. \quad (2.15)$$

Виходячи з формули (2.15) швидкість руху довільної точки струни представлена в наступному вигляді:

$$v(x_0, t_0) = \frac{a}{2} (\varphi'(x_0 + at_0) - \varphi'(x_0 - at_0)) \quad (2.16)$$

Так як похідна функції в точці дорівнює тангенсу кута нахилу її графіка в цій точці, формула (2.16) означає, що максимальна швидкість зворотного руху точок струни, що мала початкову форму  $i = \varphi(x)$ , дорівнює максимальному тангенсу кута нахилу графіка функції  $i = \varphi(x)$ , помноженому на коефіцієнт  $a$ .

В роботі [34] в якості основного розглядалося припущення про те, що обурення струни має форму рівнобедреного прямокутного трикутника. Це означає, що

$$v_1 = v_2 \quad (2.17)$$

де  $v_1$  - швидкість підлітає частки бетону;  $v_2$  - швидкість зворотного руху струни.

Це ж допущення рівності швидкостей спостерігається і в більш складній параболічній моделі, яка була введена в даній роботі в якості спроби піти від рівності (2.17). Розглянемо, наприклад, в якості початкової (обуреної) форми струни параболу (рисунок 2.4), розташовану симетрично щодо центру струни.

З огляду на початкову швидкість підлітає частки  $V$ , а також швидкість руху обурення вздовж струни, рівну значенню коефіцієнта  $a$  з рівняння (2.13), вважається, що тангенс кута нахилу обговорюваної параболі до осі  $Ox$  дорівнює:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{v_1}{a}. \quad (2.17)$$

Тоді в момент часу, відповідний «торкання» двох розбігаються парабол (рисунок 2.5), швидкість зворотного руху центральної точки струни дорівнює тобто і тут виконується рівність (2).

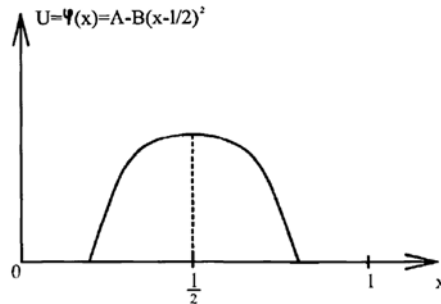


Рисунок 2.4 - Параболічне обурення струни

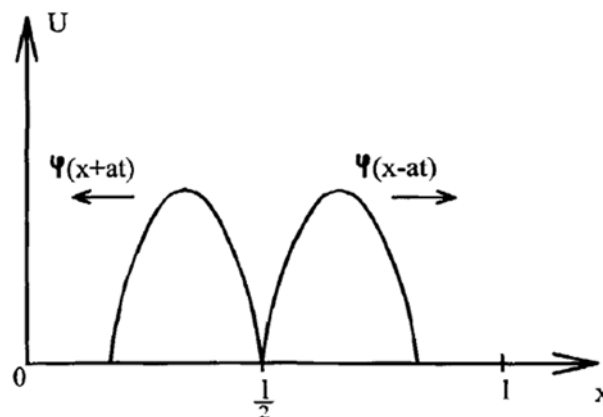


Рисунок 2.5 - Розбігаються параболічні хвилі

Вибір форми обурення струни є важливим фактором при математичному описі моделі взаємодії пневмоопалубки і торкретної струменя. На наш погляд, модель повинна відображати специфічний вплив на торкретної струмінь упругоподатливої пневматичної опалубки. Виходячи з того, що, згідно з існуючими-уявленням [34], в момент зіткнення часток суміші з поверхнею пневмоопалубки \* кінетична енергія рухомих частинок переходить в потенційну енергію деформації гнучкої тканини; яка на наступній стадії перетворюється в кінетичну енергію віз. Вратна руху пневмоопалубки і, з огляду на, що зіткнення

частинок з торкретіруемой поверхнею неупругие, припускаємо, що. цим специфічним ефектом є зниження швидкості зворотного руху опалубки 'в порівнянні зі швидкістю підлітають частинок. Чим більше буде значення цього показника, тим більша ймовірність відриву частинки бетонної суміші і появи ефекту відскоку. Рівність (2.17), характерне для трикутної (дивись рисунок 2.3) і параболічної (дивись рисунок 2.4) моделей обурення струни при ударі об неї окремої частки, змушує розглянути більш складну модель, в якій зв'язок початковій і поворотній швидкостей відрізняється від умови (2.17).

В якості основного випадку далі, будемо, вважати, що розглянута струна розташовується на відрізку  $[0, \pi]$  і має після обурення форму кривою Гаусса з деяким параметром  $\sigma$  (рисунок 2.6) [Г15] і описується виразом:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right), \quad x_0 = \frac{\pi}{2} \quad (2.18)$$

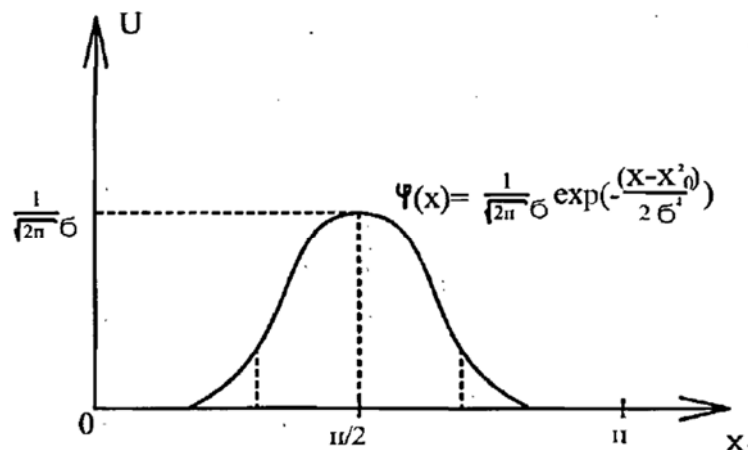


Рисунок 2.6 - «Гаусове» обурення струни

В силу відомого в теорії ймовірностей правила трьох сигм можна вважати, що обурена струна відхиляється від горизонтального положення

лише на ділянці  $-3 < \tau, \wedge + 3 < \tau |$ . Ця умова накладає на пропоновану модель поведінки струни природне обмеження:

$$0 < \sigma < \frac{\pi}{6} \quad (2.19)$$

З (2.19) ордината кривої визначається значенням параметра про і дорівнює Максимальне значення модуля похідної функції (2.19) досягається в точках перегину  $x = \hat{+}$  про цієї кривої і становить

$$\frac{1}{\sigma^2\sqrt{2\pi}} \exp^{-1/2} = \frac{1}{\sigma^2\sqrt{2\pi}} \quad (2.20)$$

При цьому значення параметра а можна пов'язати з енергією пружного збурення струни Єв:

$$E_B = \int_0^{\pi} k(\sqrt{1+(\varphi'(x))^2} - 1) dx = 2k \left( \int_{\pi/2}^{\pi} \sqrt{1+(\varphi'(x))^2} dx - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.21)$$

тут k - коефіцієнт Гука, який можна вважати пропорційним (з деяким коефіцієнтом т) силі N натягу струни -  $k = tN$ .

Обчислити інтеграл для функції (2.21) можна лише наближено. Чисельне моделювання призводить тут до наступної наближеної залежності енергії обуреної струни від значення параметра про:

$$E_B = N \left( \frac{C}{\sqrt{\sigma}} - R \right) \quad (2.22)$$

де C і R- позитивні константи

Величина енергії пружного збурення струни, для якого ми отримали вираз з розгляду запропонованої гаусом моделі, буде дорівнює значенню кінетичної енергії до струни частини.

Далі необхідно встановити вираз, що відображає взаємозв'язок між кінетичною енергією і основними технологічними параметрами: продуктивністю, діаметром сопла і відстанню сопла до поверхні нанесення.

На рисунку 2.7 показана фізична модель, яка характеризує процес нанесення торкрет-бетону на горизонтальну поверхню із застосуванням сопла, розташованого під кутом 90 ° до оброблюваної поверхні. На цьому рисунку показано, що швидкість торкрет-бетону на виході з сопла має швидкість  $U_0$ , а при падінні на горизонтальну поверхню - швидкість  $V$  /. Частинки факела володіють кількістю руху ту.

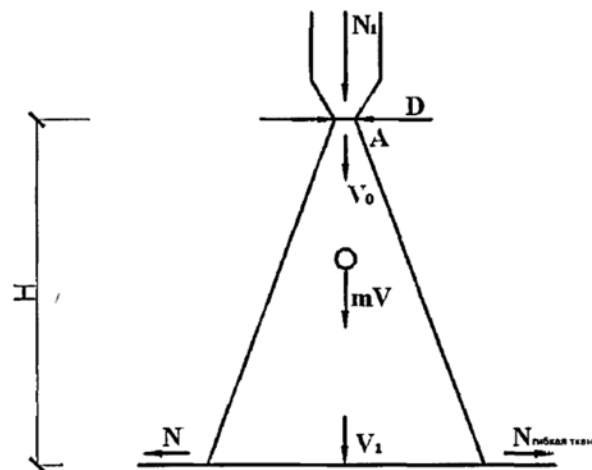


Рисунок 2.7 - Схема факела торкрет-бетону при нанесенні на горизонтальну поверхню пневмоопалубки

Припустимо, що сопло торкрет-машини розташоване на фіксованій висоті над поверхнею пневмоопалубки. Її повна (загальна) продуктивність  $Q^*$  складається з двох складових:

$$Q^* = Q_0 + Q, \quad (2.23)$$

де:  $Q_0$  - продуктивність компресора, м<sup>3</sup> / с;

$Q$  - продуктивність подачі бетону в матеріалопроводи, м<sup>3</sup> / с.

Частинки бетону, що вилітають з сопла торкретної установки, мають різні значення маси  $i$ , як наслідок, швидкості польоту. При фіксації різних параметрів процесу природно приймати деякі усереднені значення цих величин, замінюючи розгляд потоку різнорідних частинок вивченням факела, що складається з однакових статистично усереднених частинок.

Наприклад; можна обчислити середню швидкість і середню масу частинки бетонної суміші, що вилітає з сопла торкретної установки в залежності від значень параметрів  $(\rho, \epsilon)$ . За малий проміжок часу  $\Delta X$  з сопла установки «вистрілює» обсяг суміші, що дорівнює добутку продуктивності установки  $\{ \}^*$

на часовий проміжок. Цей обсяг дорівнює обсягу малого циліндра, що вилітає з сопла, пропорційному швидкості

частинок  $U_0$ , площі перетину сопла  $S = \pi D^2 / 4$ , зрозуміло, часу  $\Delta t$ . Це означає, що справедлива формула

$$\frac{\pi D^2}{4} v_0 \Delta t = Q^* \Delta t \quad (2.24)$$

Скорочуючи обидві частини рівняння на  $\Delta t$ , отримуємо вираз для швидкості частинки  $U_0$ , що вилітає з сопла установки:

$$v_0 = \frac{4Q^*}{\pi D^2} \quad (2.25)$$

Для обчислення маси частки зауважимо, що маса пропорційна її об'єму. У свою чергу природно вважати, що обсяг усередненої частки пропорційний добутку трьох лінійних вимірів цієї частки. Два вимірювання пов'язані з площею перетину  $S$  сопла установки, а третій вимір («висота» розташування вилітає частки) пропорційно продуктивності установки. Отже, отримуємо формулу для усередненого значення маси ш частинки:

$$m = \beta Q D^2 \quad (2.26)$$

де  $\beta$  - числовий коефіцієнт

Далі вважаємо, що усереднена частка не змінює свою масу при проходженні відстані від сопла до зіткнення зі струною. А ось швидкість частинки протягом цього польоту зміниться має велике значення.

Зниженню швидкості сприяє опір повітря, сила дії якої може бути виражена відомою залежністю [114]:

$$F = \alpha v^2$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт пропорційності.

Вирішуючи відповідне диференціальне рівняння, легко отримати закон зміни швидкості в залежності від пройденого шляху:

$$v(t) = v_0 \exp^{-\eta s(t)} \quad (2.27)$$

В цілому, отримуємо такий вираз для швидкості частинки, подлетане до опалубки з висоти Н:

$$v_1 = v_0 \cdot E, \quad (2.28)$$

где  $E = \exp\left(-\beta \frac{H}{QD^2}\right)$ ,

b - числовий коефіцієнт.

Формули (2.25) і (2.26) дозволяють записати кінетичну енергію усередненої частки, підлітає до пневмоопалубке, у вигляді формули:

$$E_k = \frac{mv_1^2}{2} = \alpha \frac{Q^3}{D^2} E^2 \quad (2.29)$$

де w - коефіцієнт пропорційності.

Вважаючи, що кінетична енергія  $E_k = mv_1^2/2$  підлітає до струни частки бетону переходить в енергію пружного збурення струни, ползшим зв'язок спостережуваних параметрів Q, D, N. Н процесу торкретування с.параметром а:

$$\omega \frac{Q^3}{D^2} E^2 = N \left( \frac{c}{\sqrt{\sigma}} - R \right) \quad (2.30)$$

$$\omega \zeta E^2 = \left( \frac{C}{\sqrt{\sigma}} - R \right) \quad (2.31)$$

З цього рівняння можна виразити величину а. Так само з цієї формули видно, що вдалося уточнити модель, яка відобразатиме взаємодія частинки розчину і пневмоопалубкі, прийняту в роботі [34]. Приймавши для опису поведінки напруженої пневмоопалубкі форму порушення струни у вигляді кривою Гаусса, ми, на відміну від [34] показали, що швидкість зміни напруженого стану струни, яка визначає швидкість зворотного руху опалубки, є функцією технологічних параметрів.



З формули (2.20) нас більше цікавить величина  $\sigma$ , пов'язана зі швидкістю  $U_2$  зворотного руху струни. Обчислення показують, що ця швидкість дорівнює:

$$v_2 = \frac{\delta}{\sigma^2} = \hat{C}(\mu + B)^4, \quad (2.32)$$

Отриманий результат не дає можливості встановити кількісне співвідношення між технологічними параметрами і міцністю, однак, дозволяє на якісному рівні встановити вид цієї «залежності»:

Аналізуючи отриману таким чином залежність, можна \* зробити висновок про те, що крім вже зустрічалися раніше технологічних параметрів (швидкість вильоті, діаметр сопла і т.д.) на процес взаємодії струменя з поверхнею певний вплив має величина лінійного натягу тканини пневмоопалубки.

Таким чином, в результаті аналізу моделей процесу нанесення торкрет-бетону на горизонтальну деформується поверхню в умовах непружного взаємодії часток бетону і пневмоопалубки теоретично обґрунтовано такі основні технологічні параметри, які впливають на міцність торкрет-бетону:

- продуктивність нагнетательной машини Q;
- діаметр вихідного отвору сопла, D;
- відстань від площини вихідного отвору сопла до оброблюваної поверхні, H;
- сила натягу гнучкої пневмоопалубки, N

З отриманого виразу також впливає, що залежно, що відображають взаємозв'язок міцності з основними технологічними параметрами, не пропорційні і можуть бути отримані тільки експериментальним шляхом.

У роботі автором намічені напрямки подальших досліджень, одним з яких є застосування теорії струменів. Для визначення швидкості підльоту V? вважатимемо торкрет-струмінь затопленої струменем з щільністю на виході з сопла 200 - 250 кг / м і застосовувати з деяким коректуванням закони розвитку повітряних струменів [105, 123]. Такі струменя мають початковий ділянку, де швидкості на осі постійні, і основна ділянка зі зменшенням швидкості по шляху

руху струменя і постійним кутом її розкриття, склад ляючим, за нашими дослідженнями, в середньому  $18^\circ$ . Довжина початкової ділянки для торкрет-струменя буде більше, ніж для незатоплених, наприклад, водяних струменів - (12 - 13) Б. За нашими дослідженнями, довжина початкової ділянки \* в проведених дослідах становила (5 - 6) D.

Дослідження [42, 52, 34] показали, що тверді частинки бетону в струмені рухаються окремими конгломератами (порціями), що значно ускладнює обчислення швидкості підльоту бетону до поверхні торкретування. Використовується відома з аеродинаміки залежність [105, 123] для розрахунку швидкості повітряного струменя, що містить яку-небудь речовину, на заданій відстані від витоку:

$$v_1 = \frac{n \cdot v_0 \cdot D \cdot \sqrt{\pi}}{2x} \quad (2.35)$$

де  $v_0$  - швидкість на зрізі сопла, м / с;

D - діаметр сопла;

x - відстань від сопла до поверхні торкретування, м; n - коефіцієнт, що характеризує наявність в струмені різних субстанцій.

Величина коефіцієнта n залежить від багатьох параметрів і визначається залежністю [105, 123]:

$$n = 0,9 \cdot \theta / (c \cdot \varphi \cdot \sqrt{\pi}) \quad (2.36)$$

де  $\theta$  - коефіцієнт, що враховує відмінності щільності повітряного струменя і навколишнього простору (повітря);

c - експериментальна постійна величина, ймовірне значення якої - 0,082;

$\varphi$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу швидкості

при виході з сопла,  $\varphi = \left[ \int_0^1 (v/v_0)^2 d(F/F_0)^2 \right]^{0,5}$  [105].

Теоретично розрахувати коефіцієнт n за формулою (2.36) практично неможливо, тому цей коефіцієнт був визначений експериментальним шляхом і ймовірне значення його 80 - 90.

### **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПІДЛИВКИ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПІД ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ МЕТОДОМ ДОДАТКОВОГО ВІБРУВАННЯ**

#### **3.1 Основні види приладів та матеріалів застосовуваних у процесі проведення експериментів**

У зв'язку з тим, що основною метою цієї роботи є розробка технології нанесення дрібнозернистої бетонної суміші на горизонтальні поверхні пневматичної опалубки, експериментальна частина роботи була присвячена пошуку досвідченим шляхом сполучень параметрів, при яких міцність торкрет-бетону відповідає заданій. Для відтворення процесу нанесення торкрет-бетону в лабораторних умовах була розроблена експериментальна установка на базі торкрет-машини Р-13 (рисунок 3.1), яка обрана як найбільш ефективна торкретной машина.



Рисунок 3.1 - Загальний вигляд експериментальної установки

В ході попередньої експериментальної перевірки працездатності торкрет-машини Р-13 було встановлено, що при технологічних перервах в її роботі відбувається закупорка транспортного матеріалопровода із - за втрати рухливості бетонної суміші. При малих обсягах робіт і фрагментарне бетонуванні »(на виробництві, наприклад, при замоноличуванням: стиків елементів, збірних, бетонних і залізобетонних: конструкцій), виникала необхідність переміщати сопло на сусідні ділянки бетонування; при цьому: торкрет-машину доводилося зупиняти, що так само тягло за собою закупорку матеріалопроводи і необхідність його промивання перед наступним циклом бетонування: Переміщення сопла на наступну ділянку бетонування можливо і при працюючій торкрет-машині, але це спричинить за собою великі втрати бетонної суміші, викидається з сопла на поверхню, що не потребує торкретуванні протягом усього шляху переміщення сопла, що значно збільшує матеріалоємність і зменшує ефективність роботи, пристрої. Тому, була розроблена технологічна транспортна система із застосуванням розробленого автором регульовального пристрою з додатковим матеріалом Атер і ал про пр о в од ом зворотної подачі: бетонної суміші ,, за яким бетонна суміш повертається в приймальний бункер установки, де бетонна суміш збуджується (рисунок 3.2).

До складу "експериментальної установки», входять: торкрет-машина Р-13 з бункером (3) для прийому і перемішування-'загружених, компонентів-бетонно-шуміші; регульовальний пристрій (7); що забезпечує постійну рухливість бетонної суміші; матеріалопроводи (6) і (11); повітропровід. (12); комплект сопел; дослідний зразок пневмоопалубки: (13). Сопло (Ю) підключався до регульовального пристрою (7) і воздухопроводу (12). Запобіжний клапан на повітропроводі був відрегульований, на певний тиск (0,343 МПа). Сопло закріплювалося на пересувній планці спеціальної рами (5), стійки якої заглиблюють в ґрунт, що забезпечувало достатню її стійкість.

Принцип роботи експериментальної установки з розробленим регульовальним пристроєм наступний. Бетонна суміш з бункера (3)

торкретмашини Р - 13 за допомогою насоса нагнітається по матеріалопроводи прямої подачі бетоннонсмесі (6) до регульовального пристрою (7), де змішується зі стисненим повітрям, що подається повітропроводом (12), і наноситься соплом (10) на дослідний зразок (13) при відкритому вентилі (9) і закритому вентилі (8).

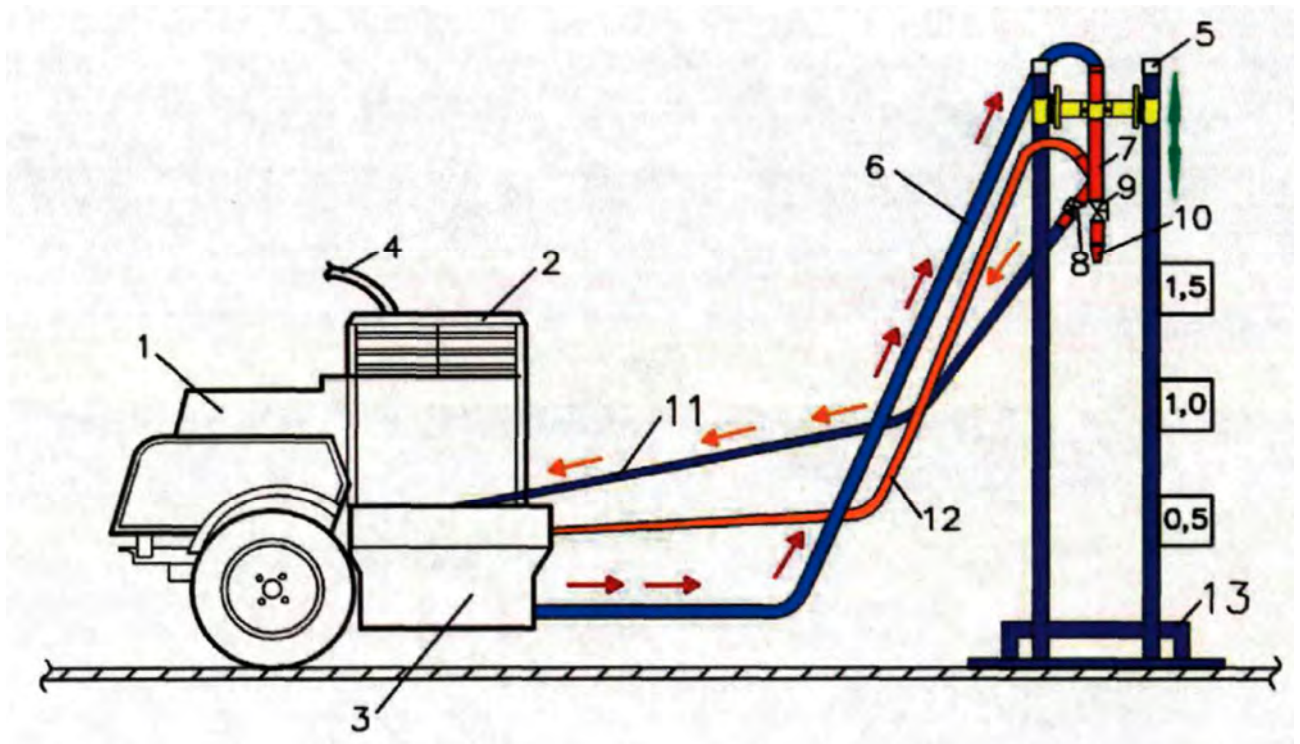


Рисунок 3.2 - Схема експериментальної установки:

1 - торкрет-машина Р-13 (2 - бетономішалка; 3 - бункер); 4 - шланг для подачі води; 5 - спеціальна рама; 6 - матеріалопроводи прямої подачі бетону; 7 - регульовальний пристрій; 8,9- вентиля регульовального пристрою; 10 - сопло; 11 - матеріалопроводи зворотної подачі бетону; 12 - повітропровід; 13 - дослідний зразок пневматичної опалубки

Перед переміщенням сопла (10) до наступного фрагменту бетонування вентиль (9) перекривається і бетонна суміш, при відкритому вентилі (8), направляється по матеріалопроводи зворотної подачі бетонної суміші (11) в бункер торкрет-машини (3), де відбувається безперервне перемішування

бетонної суміші. Тим часом, сопло (10) переміщається до наступного фрагменту бетонування, встановлюється на певній відстані і при відкритому вентилі (9) і закритому вентилі (8) здійснюється бетонування в потрібному обсязі.

Таким чином, після припинення процесу торкретування на одній ділянці і переході на інший немає необхідності вимикати торкрет-машину (що спричинило б за собою закупорку матеріалопроводи (6) з наступним промиванням) або переміщати сопло з вихідним їх нього струменем торкрет бетону на поверхню, що не потребує в торкретуванні (що тягне за собою великі втрати бетонної суміші і забруднення поверхонь), так як при застосуванні регульовального пристрою рух невироблена бетонної суміші відбувається по кільцевій системі, відбутися щей з двох матеріальних трубопроводів: подає бетонну суміш (6) до регульовального пристрою (7) і відвідного (11) в зворотному напрямку, тобто в бункер (3), де відбувається безперервне перемішування бетонної суміші.

Розроблена технологічна транспортна система дозволяє:

- максимально швидко перейти на наступну ділянку бетонування без додаткових трудовитрат на зупинку машини і ліквідацію «пробок» в матеріальних трубопроводах шляхом їх промивання;

- в режимі холостого ходу постійно підтримувати необхідні технологічні властивості бетонної суміші.

Розроблене регульовальний пристрій показано на рисунку 3.3.

Розроблене регульовальний пристрій дозволяє підвищити продуктивність праці, ліквідувати втрати бетонної суміші при переміщенні сопла по ділянках бетонування і, як наслідок, знизити матеріаломісткість, підвищити ефективність і надійність роботи установки, підвищити безпеку ведення робіт.

Для моделювання податливою опалубного поверхні автором розроблений і виконаний експериментальний стенд (рисунок 3.4), що представляє собою металеву раму (1), в середній частині якої розташовується тканинний зразок (2).

Створення двостороннього напруженого стану дослідного зразка, відповідного надлишкового тиску всередині пневмокаркасного модуля, здійснюється за допомогою рухомої штанги (6) і трикутної переставної рамки

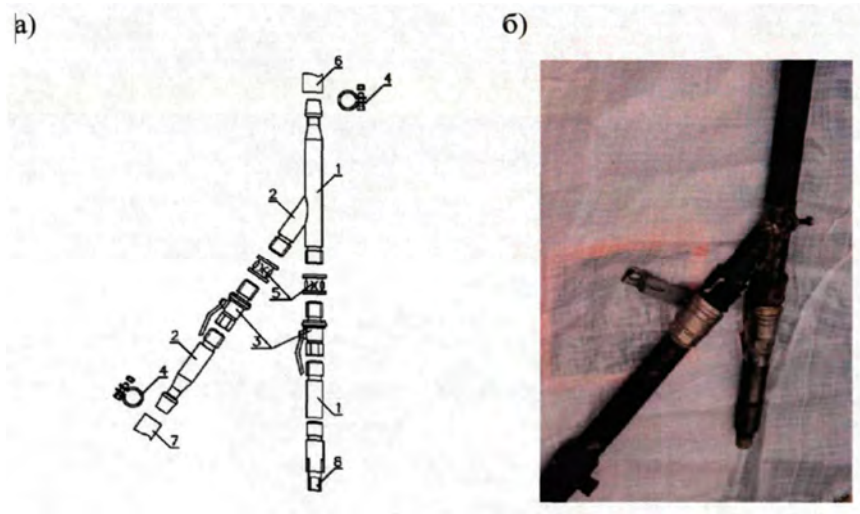


Рисунок 3.3 - Регулювальний пристрій

а) схема регулювального пристрою: 1 - сталева труба прямої подачі бетонної суміші; 2 - сталева труба зворотної подачі бетонної суміші; 3 - вентиль; 4 - затискний хомут для кріплення; 5 - муфта пряма; 6 - з'єднувальні частини розтруба; 7 - матеріальний трубопровід прямої подачі бетону; 8 - матеріальний трубопровід зворотної подачі бетону; 9 - сопло; б) загальний

вигляд регулювального пристрою

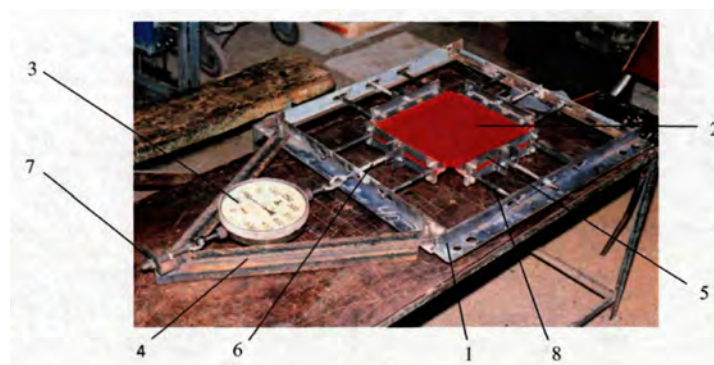


Рисунок 3.4 - Експериментальний стенд для моделювання податливою опалубного поверхні

1 - металева рама; 2 - дослідний зразок; 3 - динамометр; 4 - переставна трикутна рамка; 5 - планки; 6 - рухлива штанга; 7 - натяжна гайка; 8 - направляючі

(4) з динамометром (3). Рамка з динамометром черзі ставиться на кожну сторону рами (1). За допомогою натяжна гайки (7) здійснюється натяг тканинного зразка (2) через рухливу штангу (6). Контроль натягу виконується за допомогою динамометра Д - 500 по ГОСТ 13837 - 79 [127] з граничним навантаженням  $5 \times 10^3 \text{ Н}$  і ціною поділки  $100 \text{ Н}$ . При досягненні; необхідної величини натягу на рухомий, штанзі (6) .затягується гайка (7), яка фіксує, таким чином положення; тканинного зразка; (2). По чотирьох сторонах тканинного зразка розташовуються прямокутні відвороти, за допомогою яких тканьдзакрепляється на металеві; планкіД5). На рисунку 3.5 показана схема дослідного тканинного зразка з розмірами  $200 \times 200 \text{ мм}$ .

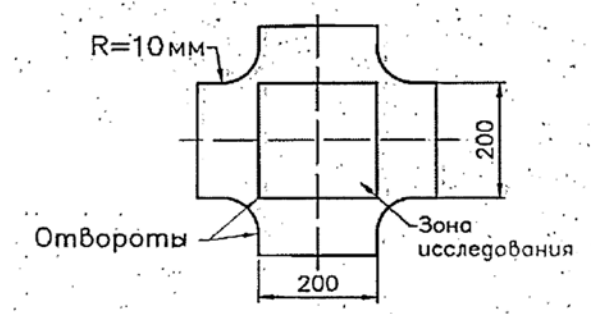


Рисунок 3.5 Схема дослідного зразка тканини пневмоопалубки

Двовісне, натяг в дослідних зразках податливою опалубного поповерхні варіюється в межах, що відповідають практично, застосовним режимам надлишкового тиску всередині пневмокаркасних модульних опалубок. Для виготовлення дослідного зразка використовувалася прогумована тканина, яка застосовується в пневмоопалубках.

В експериментальних; дослідженнях примінявся- дрібнозернистий бетон, який; використовується-прі торкретуванні монолітних залізобетонних конструкцій і рекомендований, до застосування паспортом торкретной установкиЕ-13.

Вибір складу торкрет-бетонної суміші визначався: вимогами; ГОСТ 26633 [125], ТУ 5745 - 001 - 16216892 - 06 [126] і «Керівництвом по застосуванню торкрет-бетону: при зведенні, ремонті та відновленні будівельних конструкцій, будівель і споруд», розроблені ВАТ «ЦЕШПромзданій» [76]. Прийнятий склад



торкрет-бетонної суміші: дозволяє досягти всіх технологічних якостей і експлуатаційних характеристик, заданих для свіжеуложенного торкрет-бетону.

Склад бетонної суміші згідно з рекомендаціями [4, 20] приймався 1: 2 (Ц: П), а водо-цементне відношення В / Ц 0,5 - 0,55. Суміш з таким співвідношенням! легко транспортується з матеріального трубопроводу не образуя пробок.

Як заповнювач використовувався пісок Малишевського родовища, технічні характеристики; якого відповідають \* ГОСТ 8736-93 [128] і представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики мілкового наповнювача

№ п/п	Наименование показателей	Величина показателей
1	Модуль крупности	2,59
2	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2650
3	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400
4	Пустотность, %	47
5	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	10

Відповідно до ГОСТ - 8736 - 93 [128]! за змістом пилоподібних і глинистих часток пісок відноситься до 2 класу, а по крупності - до групи піску «великий». Суміші, сухих компонентів, що завантажуються в бетономішалку установки, просівали через сито, щоб уникнути попадання великих фракцій. .

Вологість піску повинна знаходитися в діапазоні від 2 до 8% по відношенню до абсолютної? сухої суміші, так як при зниженій вологості погіршується якість бетону, а при абсолютно сухих заповнювачах структура дрібнозернистого бетону виходить шаруватої. Піски з вологістю 2 - 8% при попередньому перемішуванні компонентів обволікаються цементним порошком, в результаті, чого забезпечується найкраща смачиваемість, суміші з водою: і достатня однорідність суміші. В якості в'язучого використовувався портландцемент ПЦ - 500 ВАТ «Осколцемент», який відповідає ГОСТ 10178 -85 [129].

Для з'ясування особливостей процесу ущільнення торкрет-бетону виконувалися дослідження макро- і мікроструктури зразків. Макроструктура

вивчалася по фотографіях поверхні зразків, отриманих на різних режимах торкретування.



Рисунок 3.6 - Стенд для дослідження впливу струменя торкрет-бетону на пневмоопалубку

1 - опорна рама стенда; 2 - металевий стіл; 3 - вібрографа Гейгера;  
4 - рама з опитним зразком

Після випробування зразків на вигин проводилися дослідження мікроструктури торкрет-бетону за допомогою електронна мікроскопа «ГЕОБ. ^ М 6380БУ» з роздільною здатністю 5 нм, що дозволило вивчити поровим структуру матеріалу в широкому діапазоні.

Для дослідження динамічної дії бетонної суміші на натягнуту тканину дослідного зразка до складу експериментальної установки входив розроблений спеціальний стенд, загальний вигляд якого представлений на рисунку 3.6.

Під рамою з досвідченим зразком (4) на металевому столі (2) розміщувався вібрографа Гейгера (3), за допомогою якого записувалися параметри коливального руху (амплітуда і частота коливань)-досвідченого зразка у вигляді віброграм.

Нанесення торкрет-бетону проводилось- в умовах, наближених до виробничих. Систематично замірялися температура і вологість повітряного середовища за допомогою приладу - баротермогігрометра БМ - 2. До початку подачі бетону на дослідчий-зразок бетон протягом 10 хвилин перекачувався на експериментальній установці по замкнутому циклу, що забезпечувало задану рухливість бетону - 80 мм. Для визначення рухливості бетонної суміші використовувався конус СтройЦНПЛ.

В експериментах витримувалися умови, що забезпечують відповідність експериментальних натяжених тканини дослідних зразків торкрет-бетону експлуатаційним, отриманим при аналізі напруженого стану існуючого пневмокаркасних опалубочного модуля. Був прийнятий наступний [69] режим: при навантаженні зразка в напрямку основи тканини навантаження (натяг) змінювалася в діапазоні від 0 до 5 кН / м, від 0 до 15 кН / м, від 0 до 25 кН / м. Навантаження на зразок в напрямку, перпендикулярному лінії качка тканини, змінювалися в наступних діапазонах: від 0 до 2,5 кНУм. від 0 до 7,5 кН / м і від 0 до 12,5 кН / м.

З урахуванням того, що в теоретичній частині нам вдалося встановити форму залежності між основними технологічними параметрами процесу торкретування і факторами, що визначають перебіг процесу ущільнення торкрет-бетону, програма випробувань буде складатися з декількох серій, в яких всі технологічні параметри будуть розглянуті в якості аргументу функції, визначальною міцність торкретбетону. Не маючи технічної можливості послідовного варіювання технологічних параметрів, автор використовував у своїй роботі методи математичної статистики. Використовуючи отримані дослідним шляхом точки, що належать поверхні, що включає всі випадки поєднань, автор методом математичної статистики із застосуванням ЕОМ отримав рівняння цієї площини. Отримане таким чином сімейство площин включає всі питання, що цікавлять нас точки, які відповідають оптимальним умовам ущільнення для всіх значень досліджуваних технологічних параметрів. Побудувавши рівняння регресії для даного сімейства площин, ми отримаємо

залежність, яку можна використовувати для практичних розрахунків, в тому числі і для визначення сполучень, що забезпечують задану міцність.

Достовірність отриманих результатів експериментальних даних в значній мірі залежить від мінливості окремих показників дисперсії  $O_2$  і коефіцієнта варіації  $K_v$  [108]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (3.1)$$

$$K_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (3.2)$$

де  $q$  - середньоквадратичне відхилення;

$x_1$  значення величини 1-го виміру із серії експериментів;

- середнє значення вимірної величини;  $n$  - кількість зразків із серії;  $n - 1$  - число ступенів свободи;

$n$  - коефіцієнт варіації.

Мінімально допустима кількість зразків  $n$ ;  $n$  в одній серії визначається за формулою [108]:

$$N_{\min} = \frac{K_v^2 \cdot t}{\varepsilon^2} \quad (3.3)$$

де  $t$  - нормоване відхилення, яке залежить від заданої надійності (довірчої ймовірності  $y$ );

$\varepsilon = \pm \frac{m}{y} 100\%$  - показател ь точности измерений;

$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  - средняя ошибка среднеарифметического.

Статистична обробка попередньо проведених пошукових-експериментів при визначенні міцності зразків торкрет-бетону показала, що для, отримання, достовірних даних при довірчій, ймовірності  $y = 0,95$  і  $5\%$  - м, рівні значущості досить відчувати 4 зразка \* з кожної серії. При цьому коефіцієнт варіації склав  $K_v = 5\%$  ^ показник точності вимірювань  $\gamma = 5\%$ , а нормоване відхилення прийнято  $t = 2$ .

При плануванні експериментальних досліджень для визначення змінних величин використані результати вибору основних технологічних параметрів (розділ 2), що впливають на процес нанесення торкрет-бетону на поверхню. Такими параметрами є:

- продуктивність установки;
- діаметр вихідного отвору \* сопла;
- відстань до оброблюваної поверхні;
- сила натягу тканини пневмоопалубки.

Межі зміни, значень перерахованих вище параметрів призначалися виходячи з таких міркувань.

Продуктивність торкрет-машини Р-13, відповідно до паспорта, має максимальне значення 4,8 м<sup>3</sup> / год, а мінімальне - 1,5 м<sup>3</sup> / год. Тому, в експериментах продуктивність установки варіювалася в зазначених межах (від 1,5 до 4,8 м / ч).

Діаметр сопла приймався в діапазоні від 10 до 30 мм. Мінімальне значення діаметра вибрано таким тому, що при менших розмірах сопло забивається частинками, торкрет-бетону. При діаметрах сопла понад 30 мм швидкість повітряного потоку, з - за його значного розширення, різко падає і, в результаті, ефективність торкретування знижується.

Відстань до оброблюваної поверхні змінюється в межах від 0,5 до 1,5 м. При менших значеннях відстані до поверхні спостерігається підвищений відскік бетонної суміші, а при великих - виникає неоднорідність розподілу бетонної суміші в межах плями бетонування.

Сила натягу тканини<sup>1</sup> прийнята в діапазоні від 5 до 25 кН / м з урахуванням результатів<sup>1</sup> експериментальних досліджень, виконаних раніше в Воронежському державному архітектурно будівельному університеті [19, 20, 1 69]. Згідно з цими дослідженнями внутрішнє надлишковий тиск в ПКО модулі, що застосовується при зведенні монолітних прогонових конструкцій, змінюється в межах від 30 до 50 кПа. Прийнятий діапазон натягу тканини відповідає наведеним вище значень надлишкового тиску .воздуха.

Такі параметри, як водо-цементне відношення 0,55, склад бетонної суміші 1: 2 і марка цементу М500 прийняті постійними.

Для \* вибора оптимальних значень основних технологічних параметрів, зазначених вище, в межах області варіювання, проведено математическое планування експерименту [101], що дозволяє теоретично обгрунтовано встановити мінімально необхідну кількість і состав експериментів, а також порядок їх проведення. Вибор'же оптимальних значень основних технологічних параметрів дозволить забезпечити вихідний параметр, тобто міцність торкрет-бетону на стиск, не нижче заданої \*.

Відповідно до поставленим завданням, встановлюємо області варіювання зазначених технологічних факторів (таблиця 3 .2).

Таблиця 3.2 - Умови планування експерименту

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
Расстояние нанесения Н, м	$x_1$	0,5	1	1,5	0,5
Диаметр сопла D, мм	$x_2$	10	20	30	10
Производительность установки Q, м <sup>3</sup> /ч	$x_3$	1,5	3	4,8	...
Натяжение ткани N, кН/м	$x_4$	5	15	25	20

Значення факторів зручно задавати в кодованих величинах: верхній рівень фактора дорівнює +1, нижній -1, середній або основний 0. Продуктивність: торкрет-машини по паспорту може: брати тільки значення: 1,5, 3,0 і 4; 8 м<sup>3</sup> / година. Тому, для факторах ^ через неоднакового відстані від основного до нижнього і верхнього уровней- перед кодуванням; зробимо перехід до псевдофакіей гору  $x_3$

$$x_3^* = -0,0572 x_3^2 + 1,3909 x_3 - 0,4576 \quad (3.4)$$

. Уровні псевдофактора  $x_3^*$  приймають значення 1,5 (-1), 3,2 (0), 4,9 (+1).

Такі параметри, як водо-цементне відношення 0,55, склад бетонної суміші 1: 2 і марка цементу М500 прийняті постійними.

Для вибору-оптимальних значень основних технологічних параметрів необхідно побудувати- регрессионную, залежність, міцності торкрет - бетону на стиск  $R_{сж}$ , МПа від досліджуваних факторів.

Як видно з таблиці 3.2, для- прийнятих рівнів: варіювання, досліджувана. залежність, очевидно; матиме нелінійний характеру тому, для проведення експериментів приймаємо трирівневий композиційний план типу В4. Цей план дозволяє: реалізувати все не повторюються варіанти, дослідів невказаних рівнях. У таблиці 3.3 представлена матриця планування експерименту, по якій виконуються експериментальні дослідження.

Таблиця 3.3 - Матриця трирівневого композиційного плану В4

Точки плана.	Матрица планирования				Квадраты переменных				Взаимодействия факто- ров						Выход- ной па- раметр $Y_i$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_4^2$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_1x_4$	$x_2x_3$	$x_2x_4$	$x_3x_4$	
$N_1$	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_1$
	2	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_2$
	3	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	$Y_3$
	4	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	$Y_4$
	5	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	$Y_5$
	6	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	$Y_6$
$N_2$	7	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	$Y_7$
	8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$Y_8$
	9	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$Y_9$
	10	-1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	$Y_{10}$
	11	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	$Y_{11}$
	12	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{12}$
	13	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	$Y_{13}$
	14	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	$Y_{14}$
	15	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{15}$
	16	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{16}$
$N_3$	17	+1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{17}$
	18	-1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{18}$
	19	0	+1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{19}$
	20	0	-1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	$Y_{20}$
	21	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{21}$
	22	0	0	-1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{22}$
	23	0	0	0	+1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	$Y_{23}$
	24	0	0	0	-1	0	0	0	+1	0	0	0	0	0	$Y_{24}$

Щоб уникнути систематичних помилок експерименти проводяться не по порядку, зазначеному в матриці, а в деякій випадкової послідовності, яку можна встановлювати в залежності від конкретних умов [101].

Після твердіння нанесеною торкрет-бетонної суміші під плівкою і набору 50% міцності з масиву вирізалися зразки бетону розміром 160x40x40 мм. При цьому зразки вирізалися з центральної частини масиву, що зводило до мінімуму вплив крайового ефекту на показники міцності і однорідності торкрет-бетону. Зразки витримувалися протягом 28 діб в нормальних температурно-вологісних умовах ( $t = 18 - 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ , відносна вологість 60 - 65%).

Для кожної серії випробувань відбиралися 9 зразків - балочок, тобто повторюваність кожного експерименту була дев'ятикратною, що забезпечує достатню точність вимірювань. Отримані на лабораторній установці зразки випробовувалися на міцність відповідно до ГОСТ 10180-90. Визначення межі міцності зразків суміші на вигин проводилося на випробувальній машині МІІ - 100 (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 - Випробувальна машина МІІ - 100



$$R = \frac{P \cdot l}{a \cdot b^2} \quad (3.5)$$

де  $P$  - руйнівне навантаження, кгс / см<sup>2</sup>;

$a$ ,  $b$ ,  $l$  - відповідно ширина і висота поперечного перерізу балочки і відстань між опорами при випробуванні зразків, см.

Міцність бетону на стиск визначалася шляхом випробування зразків розміром 80x40x40 мм на гідравлічному пресі ПСУ - 125 (рисунок 3.8). На рисунку 3.9 показаний характер руйнування досвідченого зразка.

Межа міцності на стиск визначався як відношення руйнує сили до початкової площі поперечного перерізу зразка і обчислювався за формулою:

$$R_{\sigma} = \frac{P}{F} \quad (3.6)$$

Під час випробування зразок-балочка встановлювався на опорній плиті преса таким чином, що зусилля стиснення створювалося в потрібному напрямку потоку бетонної суміші, а сам зразок центрована по його вертикальній геометричній осі, яка збігалася з центром розмічальних ліній преса. Навантаження на зразок зростала рівномірно зі швидкістю не більше 0,2 МПа в секунду, що відповідає вимогам ГОСТ 10180

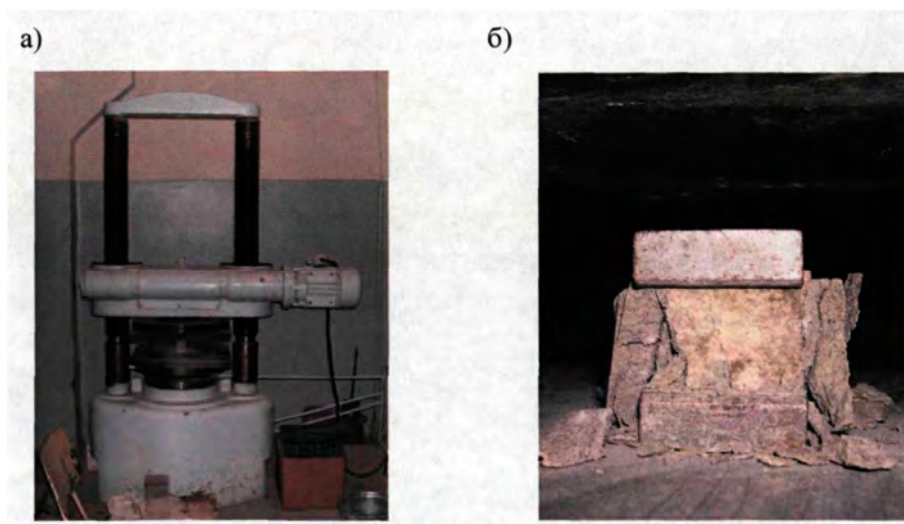


Рисунок 3.8, Рисунок 3.9 - Випробування зразків на стиснення на гідравлічному пресі ПСУ – 125; руйнування зразка при стисканні

Рівняння регресії, отримане по матриці планування експерименту, має вигляд полінома другого порядку:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 \quad (3.7)$$

Для перевірки значущості коефіцієнтів і подальшого визначення адекватності рівняння регресії виконується його статистичний аналіз.

Оцінка значущості коефіцієнтів виконується на підставі визначення розрахункових значень критерію Стьюдента  $t_P$  для кожного коефіцієнта рівняння регресії. Коефіцієнти вважаються значущими, якщо розрахункове значення критерію Стьюдента  $t_P$  виявиться більше табличного  $V$ . Якщо коефіцієнт не значущий, то він може бути відкинтий без перерахунку інших, але коефіцієнти квадратичних членів залишають, навіть якщо вони не значимі.

Для оцінки однорідності дисперсій використовується  $F$  - критерій Фішера. Розрахункова  $F_p$  порівнюється з табличним значенням критерію Фішера  $F_t$ . Рівняння вважається адекватним, якщо  $F_p < F_t$ .

Прийнявши значення всіх факторів (за винятком одного) на основному рівні, рівняння регресії можна перетворити в параболу наступного виду  $y = B_0 + B_1X + B_2X^2$  з екстремумів в точці  $x_{ei} = -B_1/2B_2$ . Абсолютне значення коефіцієнта  $B_2$ , відповідає швидкості зміни досліджуваного фактора  $X$ ;

Підставляючи в отримане рівняння регресії кодовані значення кожного параметра (наприклад: 0,25; 0,5; 0,75; -0,3; -0,6; -0,75) отримаємо значення вихідного параметра - міцності на стиск торкрет-бетону - при будь-яких проміжних поєднаннях факторів.

### 3.2 Влаштування експериментального обладнання

Відповідно до накопиченим на сьогоднішній день науковим досвідом, міцність торкрет-бетону при постійному гранулометричному складі і водоцементному відношеннями визначається умовами ущільнення суміші в

процесі безпосереднього укладання. У зв'язку з тим, що основною метою дослідження є досягнення проектної міцності, в експериментальній частині роботи приділено увагу вивченню конфігурації факела бетонної суміші (рисунок 3.10) при нанесенні її на горизонтальну поверхню пневмоопалубки з точки зору забезпечення оптимальних умов ущільнення.

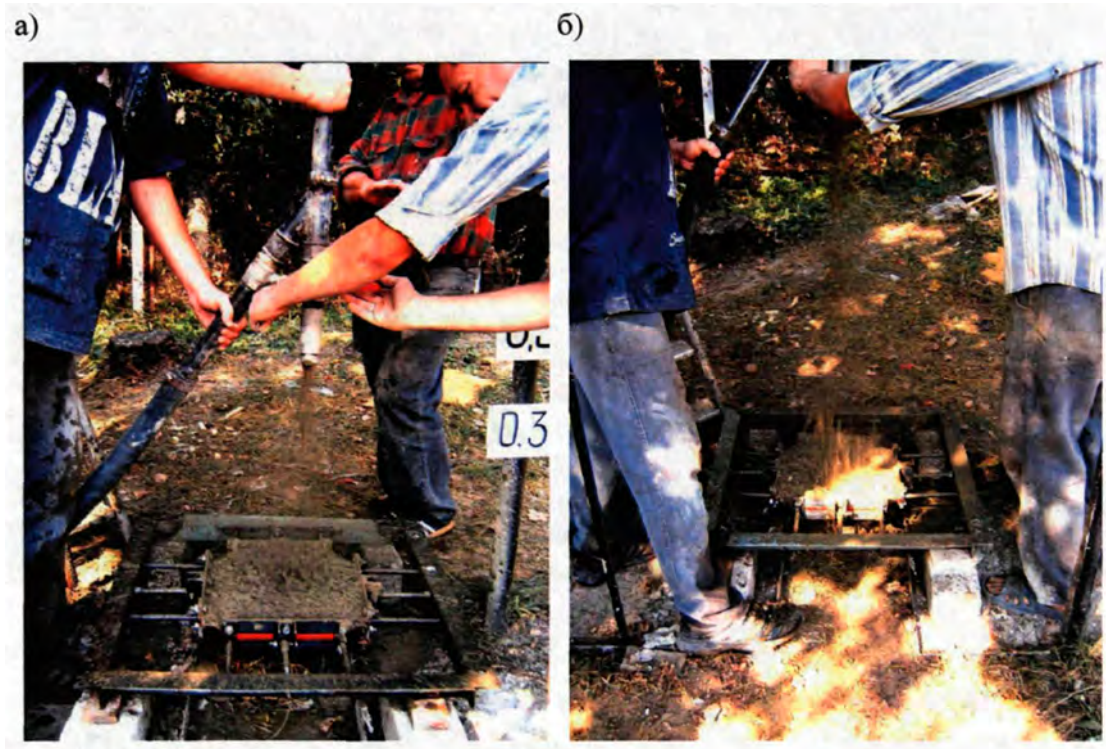


Рисунок 3.10 - Конфігурація струменя торкрет-бетону

а) - при відстані від сопла до поверхні пневмоопалубки 0,5 м.; б) - при відстані від сопла до поверхні пневмоопалубки 1,5 м.

Спираючись на закони теоретичної механіки можна уявити про процес нанесення частинок торкрет-бетону на деформується поверхню наступним чином. У момент вильоту частинки торкрет-бетону за рахунок тиску стисненого повітря набувають досить високу швидкість польоту. Потім вони здійснюють рух в факелі з розширюється повітряним потоком, причому як частки суміші, так і повітряний потік втрачають свою швидкість.

У таблиці 3.4 представлені результати експериментальних досліджень параметрів факела торкрет-бетону при нанесенні його на горизонтальну

поверхню пневмоопалубки. При цьому в якості основних параметрів використовувалися наступні фактори:

- відстань  $H$  між соплом і оброблюваної поверхнею;
- діаметр  $D$  сопла (від 10 \* до 30 мм);
- кут розкриття факела  $\alpha$  (град);
- продуктивність установки  $Q$ ;
- діаметр плями  $d$ .

Аналіз даних в таблиці 3.4 дозволив встановити, що залежність зміни діаметра плями від перерахованих вище параметрів  $Q$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $\alpha$  близька до лінійної.

Паралельно з проведенням досліджень з метою отримання зразків, необхідних для випробувань на міцність, проводився контроль за формою, плями.

Слід зазначити, що явище відскоку в досліджуваній технології торкретування горизонтальних поверхонь має свої специфічні особливості і в технічній літературі він характеризується як «невидимий відскік». Зіткнення частинок з тканиною пневмоопалубки неупруге. Вивчення характеру падіння частинок показало, що вперше секунди частки після падіння на поверхню утворюють плівку вузького шару. Коли товщина цього шару досягає певного значення, створюються умови для стабілізації становища шару торкрет - бетону: підлітають частки, проникаючи в цей шар, гасять свою швидкість і залишаються в 'шарі. Надалі, шар цих часток ущільнюється іншими частинками падаючої струменя і шар вирівнюється. Таким чином, потерши матеріалу від «невидимого відскоку» при даній технології практично відсутні.

Вивчення процесу нанесення торкрет-бетону на тканинний зразок дозволило встановити характер розподілу бетонної суміші по площі плями. Основна частина суміші лягає уздовж його зовнішнього, контуру. Це обумовлено тим, що падаючі струмені частинки розчину, що знаходяться в розширенні повітряному потоці, мають високу кінетичну енергію, переходить в потенційну, і виштовхує рухливу бетонну суміш в сусідні зони.

Таблица 3.4 - Параметры факела нанесенного торкрет-бетону на горизонтальную поверхность пневмоопалубки

Расстояние между соплом и обрабатываемой поверхностью, Н, см.	Диаметр сопла, мм.					
	10		20		30	
	Средний размер пятна, d, см.	Угол раскрытия факела, $\alpha$ , град.	Средний размер пятна, d, см.	Угол раскрытия факела, $\alpha$ , град.	Средний размер пятна, d, см.	Угол раскрытия факела, $\alpha$ , град.
Производительность $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$						
20	8	18	11	19	14	20
30	12	18	15	19	18	20
40	16	18	19	19	22	20
50	20	18	23	19	26	20
60	24	18	27	19	30	20
80	32	18	35	19	34	20
100	42	18	45	19	48	20
120	50	18	54	19	56	20
140	56	18	59	19	64	20
150	60	18	64	19	66	20
Производительность $Q = 3,0 \text{ м}^3/\text{ч}$						
20	11	21	14	22	17	24
30	15	21	18	22	21	24
40	19	21	22	22	26	24
50	23	21	26	22	30	24
60	27	21	30	22	34	24
80	35	21	34	22	43	24
100	45	21	48	22	51	24
120	54	21	56	22	60	24
140	59	21	64	22	65	24
150	63	21	65	22	68	24
Производительность $Q = 4,8 \text{ м}^3/\text{ч}$						
20	14	28	17	26	20	25
30	18	28	21	26	24	25
40	22	28	25	26	28	25
50	26	28	29	26	32	25
60	30	28	33	26	36	25
80	38	28	42	26	45	25
100	48	28	51	26	54	25
120	56	28	59	26	62	25
140	62	28	65	26	68	25
150	66	28	68	26	70	25

Характер розподілу бетону на поверхні тканинного зразка визначався шляхом заміру товщини шару бетону, нанесеного протягом короткої (близько 2 с.) Роботи сопла при сталому факелі розпилення. На рисунку 3.11 представлена схема розподілу бетонної суміші в плямі.

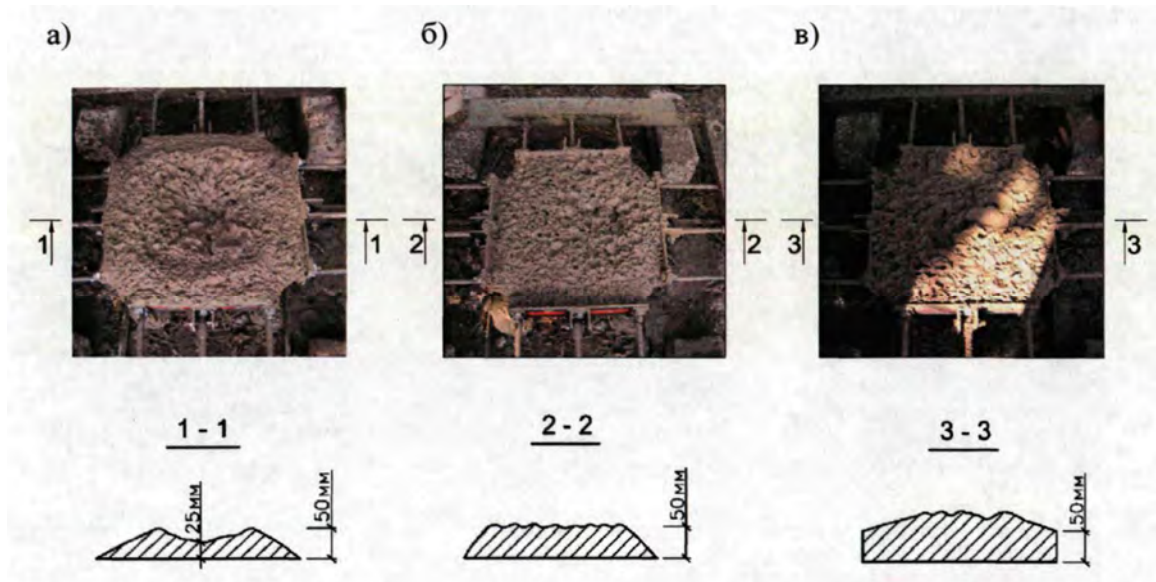


Рисунок 3.11 - Схема розподілу бетонної суміші в плямі торкрет-бетону в залежності від висоти розташування сопла над торкретіруємим  
 а) при висоті сопла 0,5 м .; б) при висоті сопла 1,0 м .;  
 в) при висоті сопла 1,5 м

Розгляд нанесеного плями торкрет-бетону показало, що воно має різну поверхню. Спостерігаючи, в ході дослідження, при різних значеннях технологічних чинників зміна форми «кратера» плями бетонування, автор прийшов до висновку, що зміна форми кратера може дати інформацію про те, наскільки оптимально поєднання основних параметрів швидкості підльоту частинок і елементарної маси з точки зору забезпечення оптимальних умов ущільнення.

Експерименти показали, що при невеликому значенні відстані (близько 0,3 - 0,5 м) від сопла до опалубки відбувається сильне розбризування бетонної суміші за рахунок високої кінетичної енергії частинок і значного їх відскоку від

поверхні. Товщина бетону по краях плями досягала 40 - 50 мм, а в самому тонкому шарі (в середній зоні) - 20 - 25 мм. і в результаті виходила форма кратера. Знижуючи кінетичну енергію збільшенням відстані від сопла до поверхні до 1 м ми отримуємо відносно рівну поверхню. При збільшенні відстані до 1,5 м. Форма поверхні плями торкретбетону нерівна розпушена; У підсумку, змінюючи швидкість підльоту і елементарну масу шляхом варіювання технологічних параметрів, можна отримати-пляма бетонування, все зони якого мають однакову товщину. Можна припустити, що при даному поєднанні забезпечуються-ідеальні умови ущільнення і, як наслідок, "оптимальная-міцність. Подальше варіювання в цілях посилення виявленого впливу технологічних факторів на форму кратера плями бетонування ^ призведе до утворення піднесення в середній зоні, що буде свідчити про те, що при даному поєднанні кінетична енергія частинок недостатня, для забезпечення оптимальних умов бетонування:

Контроль за якістю ущільнення також здійснювався шляхом дослідження порової структури торкрет-бетону, яке проводилося с. допомогою електронна мікроскопа «ШОБ Лем 6380БУ», що дозволило вивчити структуру матеріалу в широкому діапазоні. В ході експериментів досліджувався вплив на поровим структуру зразків торкрет-бетону<sup>1</sup> всіх технологічних факторів процесу торкретування. В цілому матеріал характеризуєтьсягдос- таточно щільною структурою, з порівняно невеликою кількістю пір (не більше 5%). '.

При висоті сопла від поверхні 0,5 м кількість пір складає від  $2^5$  до 3,0%, а при висоті 1,0 м - від 2,3 до 2,5%. При висоті 1,5 м.значенія пористості змінюються в межах від 3,0 до 4,0%. Таким чином, при; висоті нанесення торкрет-бетону, що дорівнює!, 0 м, пористість має мінімальні значення. . .

В результаті дослідження структури зразків торкрет-бетону в залежності від сили натягу; тканини пневмоопалубкі встановлено, що при збільшенні натягу відбувається більше ущільнення матеріалу (пористість матеріалу, навпаки, зменшується). На рисунку 3.12 показані: фотографії зразків торкрет-бетону при натягу тканини по качку 5,0 і 25 кН / м. і ідентичних інших параметрах .:

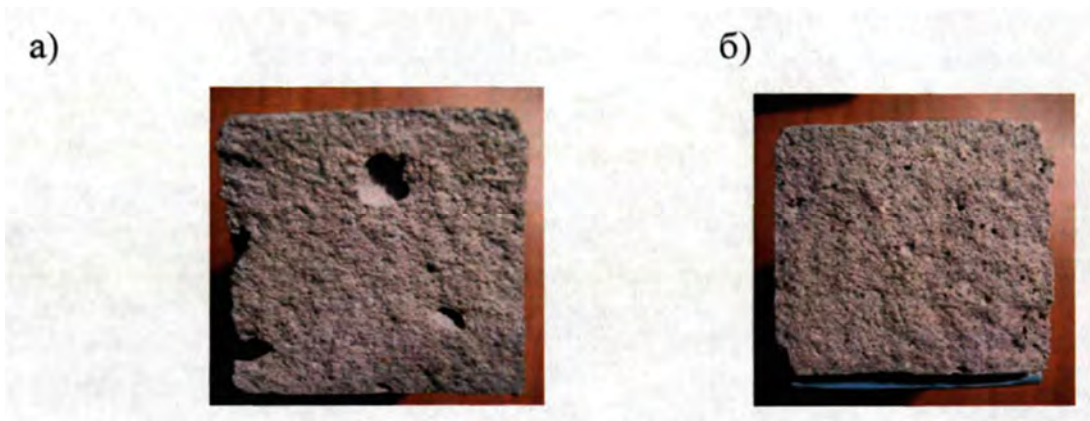


Рисунок 3.12 - Фотографії зразків при різному натягу тканини N

а)  $N = 5,0 \text{ кН / м}$ ; б)  $N = 25 \text{ кН / м}$

У процесі досліджень виявлено вплив на структуру торкретбетону величини продуктивності установки: зі збільшенням продуктивності установки в інтервалі від 1,5 до 3,0 м<sup>3</sup> / год пористість значно знижується і структура найбільш щільна (мінімальне значення пористості при  $Q = 3,0 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ), а при подальшому зростанні продуктивності до 4,8 м<sup>3</sup> / ч макроструктура неоднорідна з величезними раковинами (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 - Зразок торкрет-бетону при продуктивності торкрет-машини 4,8 м<sup>3</sup> / ч, відстані від сопла 1 м., Натягу тканини пневмоопалубки 25 кН / м

У процесі подальших досліджень експериментально виявлено вплив на пористість торкрет-бетону величини продуктивності установки. Ця залежність виглядає наступним чином: зі збільшенням продуктивності установки в інтервалі від 1,5 до 3,0 м<sup>3</sup> / год вона значно знижується (мінімальне значення при  $Q = 3,0 \text{ м}^3 / \text{год}$ ), а при подальшому зростанні продуктивності до 4,8 м<sup>3</sup> / ч вона також збільшується.



Оцінюючи умовно замкнуту поровим структуру торкрет-бетону, вдалося виявити специфічний вплив на процес торкретування податливою опалубки, яке проявилось в тому, що пори по висоті розрізу розподіляються нерівномірно і становлять від 2,3 до 4,0%. Найбільше їх число припадає на нижню частину зрізу і перевищує приблизно в 1,2 рази кількість пір в верхньому шарі, що підтверджує припущення про «прихованому відскоку».

У роботі проведена серія експериментальних досліджень, що розглядають взаємодію торкрет-бетону з поверховістю тканини пневмоопалубки із застосуванням спеціального стенду, конструкція якого наведена на рисунку 3.6. За допомогою вібрографа Гейгера записувалися коливання тканини, натягнутої з різними зусиллями. При цьому вимірювалися вимушені вертикальні коливання тканини в середній частині марки. Висота розташування сопла по відношенню до марки склала 1 м, а продуктивність установки - 3 м<sup>3</sup> / год. На рисунку 3.13 представлена характерна віброграм коливального процесу тканини.

У таблиці 3.5 представлені оброблені результати експериментальних досліджень, в яких даються значення максимальної амплітуди і частоти коливань тканини пневмоопалубки.

На основі аналізу віброграм встановлено, що коливання носять випадковий характер і на більшості діляниць далекі від гармонійних.

До моменту потрапляння наступної порції бетону на тканинний зразок ці коливання швидко затухають, про що свідчать великі значення коефіцієнтів загасання  $\lambda = 1.5 \dots 3.25$  (декремент коливань в діапазоні від 0,41 до 1,17), підраховані на цих інтервалах часу до загасання коливань. Для більшості записів найбільші значення амплітуд мають місце при попаданні першої порції бетонної суміші на тканину. Максимальна величина амплітуди досягає значення 2,6 мм, вплив наступних порцій бетонної суміші менш значно.

Частоти коливань зразків при дослідженнях змінювалися в великому діапазоні навіть для однієї серії експериментів, оскільки маса марки з торкрет-бетоном в процесі їх динамічного навантаження постійно змінюється через приєднаної маси бетону. Інтервали попадання порцій бетону на тканину також

сильно різняться по мірі торкретування. Порівнюючи значення характерних частот вимушених коливань зразків, не важко помітити, що для зразків, натягнутих з великим зусиллям, частоти коливань вище (рисунок 3.14).

Так, наприклад, для тканини з натягом від 5 до 15 кН / м частоти коливань знаходяться в діапазоні від 18 до 26,7 Гц, а для тканини з натягом від 15 до 25 кН / м - в діапазоні від 26 до 40 Гц. Середнє значення частоти коливань при цьому зростає в 2,05 рази.

Отримані закономірності підтверджують висновок про те, що при збільшенні сили натягу тканини амплітуда її коливань знижується і вона не перешкоджає ущільненню бетону біля самої гнучкої опалубки.

Для встановлення оптимальних технологічних параметрів торкретування бетонної суміші на горизонтально розташовану пневмоопалубку був запланований і реалізований 4х факторний експеримент по Д - оптимальному трирівневого композиційному задуму типу В4 [101]. Як і в разі торкретування твердих поверхонь [6], за критерій оптимальності технології торкретування пневмоопалубці прийняті властивості міцності конструкції.

В якості технологічних параметрів, що впливають на властивості міцності конструкції, розглядалися:

- відстань від вихідного отвору сопла до ділянки бетонування на горизонтально розташованій пневмоопалубке Н, м (X1);
- діаметр вихідного отвору сопла Е, мм (x2);
- продуктивність торкрет - машини С), м<sup>3</sup>/час (x3);
- натяг тканини пневмоопалубки N5 кН / м (X4):

Межі варіювання факторів призначалися виходячи з апріорної інформації таким чином, щоб вони охоплювали передбачувану область оптимальних значень факторів. Значення факторів зручно задавати у відносних або кодованих величинах. Верхній рівень фактора дорівнює +1, нижній - 1, середній або основний 0. Перехід до кодованим величинам здійснювався за правилами, викладеним в [101] і наведено в таблиці 3.2.

План і результати експерименту наведені в таблиці 3.6.

Обробка результатів експерименту включала визначення кодованих коефіцієнтів рівняння регресії методом найменших квадратів, оцінку значущості кодованих коефіцієнтів регресії з використанням критерію Стьюдента, перевірку адекватності кодованого рівняння регресії з використанням критерію Фішера [101]. В результаті отримана регресійна модель:

$$Y_{сж} = 22,5 - 0,8x_1 - 1,3x_2 \sim 0,52x_3 + 1,39x_4 - 1,04x_1^2 - 0,64x_2^2 - 5,14x_3^2 - 0,04x_4^2 \quad (3.8)$$

Значимість коефіцієнтів регресії показана на гістограмі ранжирування факторів регресійної залежності міцності торкрет-бетону на стиск  $1^{\wedge}$ .ж від досліджуваних параметрів (рисунок 3.15).

Отримане рівняння регресії, що зв'язує основні технологічні параметри процесу нанесення торкрет-бетону на гнучку опалубку може бути використано для практичних розрахунків в різних виробничих умовах.

На рисунку 3.16 - 3.21 представлені зображення поверхні відгуків  $\mathcal{C} = \text{ред} \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ , побудовані за допомогою програми «MaLсаб», на яких по двох осях координат відкладаються значення двох параметрів, а по третій осі визначається значення міцності  $Y_{сж}$  (вихідний параметр) при фіксованому значенні інших двох параметрів.

Аналіз графічних залежностей на цих рисунках дозволив зробити висновок про те, що поверхня відгуку має найбільшу кривизну, що характеризує функціональну залежність  $Y_{сж} = f(O, O)$ , представлену на рисунку 3.16. Максимальні значення  $Y^*$ . \* На поверхні відгуку відповідають величині продуктивності  $O = 3,0 \text{ м} / \text{ч}$  практично при всіх значеннях діаметра сопла  $O$ .

Розгляд рисунка 3.17 показує, що максимальні значення  $Y_{сж}$  також аналогічні, як і на розглянутому раніше рисунку, при продуктивності  $O = 3,0 \text{ м}^3 / \text{год}$  (лінії відгуку уздовж осі XI мають незначну кривизну).

Аналогічний характер поверхні відгуку залежності  $Y_{сж} = f(O, O)$  видно і на рисунку 3.18. Тут максимальні значення  $Y^*$  існують також при  $O = 3,0 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

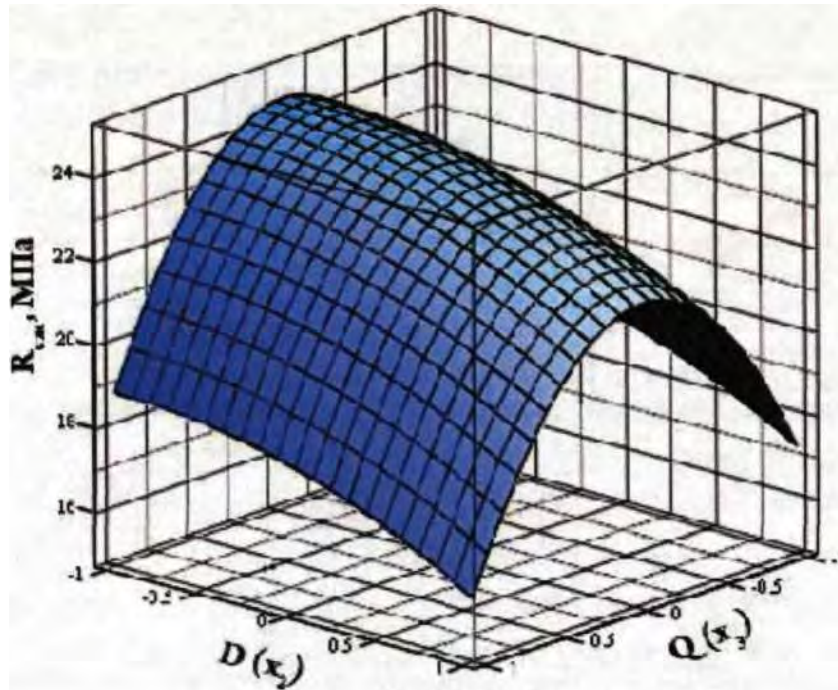


Рисунок 3.16 - Залежність міцності торкрет-бетону від продуктивності торкрет-машини  $Q$  і діаметра сопла  $D$  при відстані від сопла  $H = 1,0$  м, і натягу пневмоопалубки  $N = 25$  кН / м

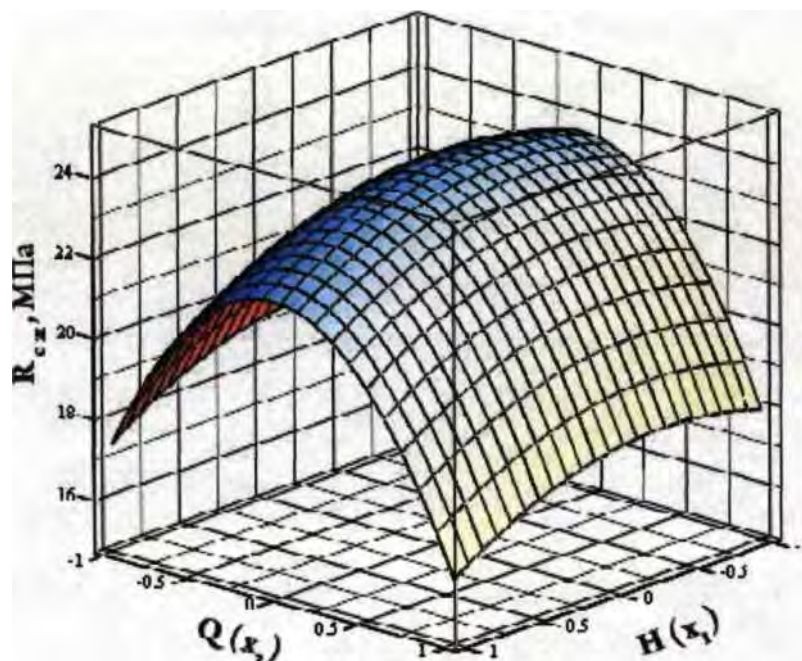


Рисунок 3.17 - Залежність міцності торкрет-бетону від продуктивності торкрет-машини  $Q$  і відстані від сопла  $H$  при діаметрі сопла  $D = 10$  мм, і натягу пневмоопалубки  $N = 25$  кН / м

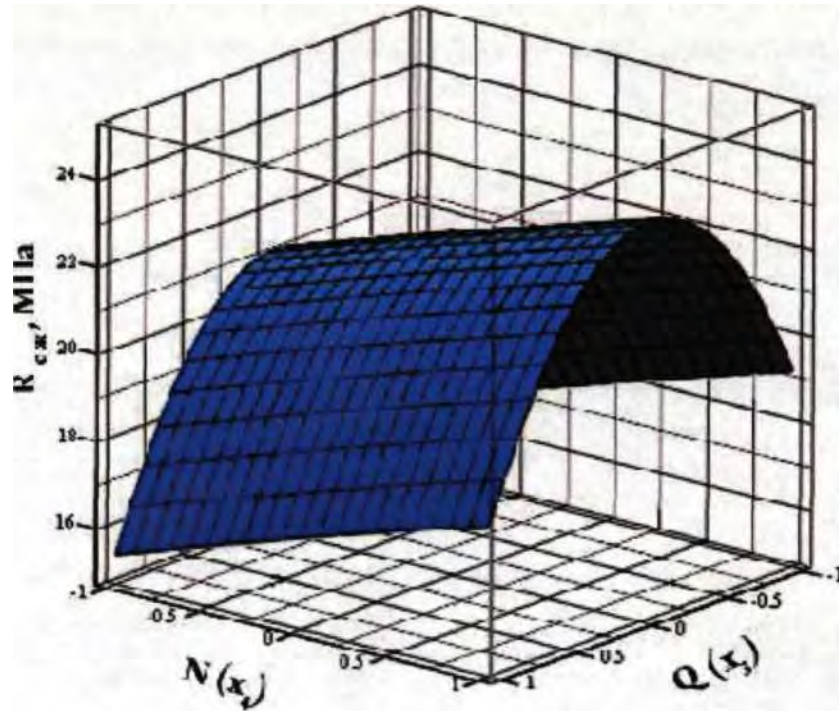


Рисунок 3.18 - Залежність міцності торкрет-бетону від продуктивності торкрет-машини  $Q$  і натягу пневмоопалубки  $N$  при відстані від сопла  $H = 1,0$  м, і діаметрі сопла  $D = 10$  мм.

Аналіз залежності  $Y = P(N, B)$ , представленої на рисунку 3.19, дозволив встановити, що лінії відгуку по обидва координатним осях мають незначну кривизну. При цьому максимальні значення  $Y_{сж}$  отримуємо при висоті  $H = 1,0$  м і діаметрі  $B = 10$  мм.

З розгляду рисунків 3.16-3.18 слід, що найбільші значення міцності торкрет-бетону відповідають висоті  $H = 1,0$  м, силі натягу  $N = 25$  кН / м і діаметром сопла  $\theta = 10$  мм.

Графіки, наведені на рисунках 3.16-3.21, дозволяють аналізувати поверхні відгуків при одночасному поєднанні трьох технологічних параметрів. Більш детальний аналіз залежностей міцності торкрет-бетону від різних технологічних параметрів проведено за допомогою традиційних двомірних графіків з побудовою сімейства кривих, що дозволяють наочно проводити їх порівняння між собою.

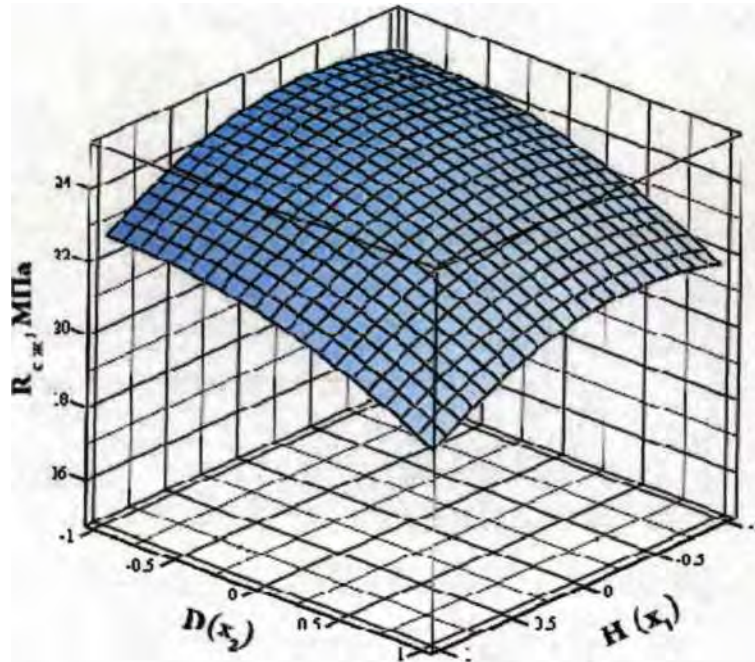


Рисунок 3.19 - Залежність міцності торкрет-бетону від відстані від сопла  $H$  і діаметра сопла  $D$  при продуктивності торкрет-машини  $Q = 3,0$  м<sup>3</sup>/ч і натягу пневмоопалубки  $N = 25$  кН / м

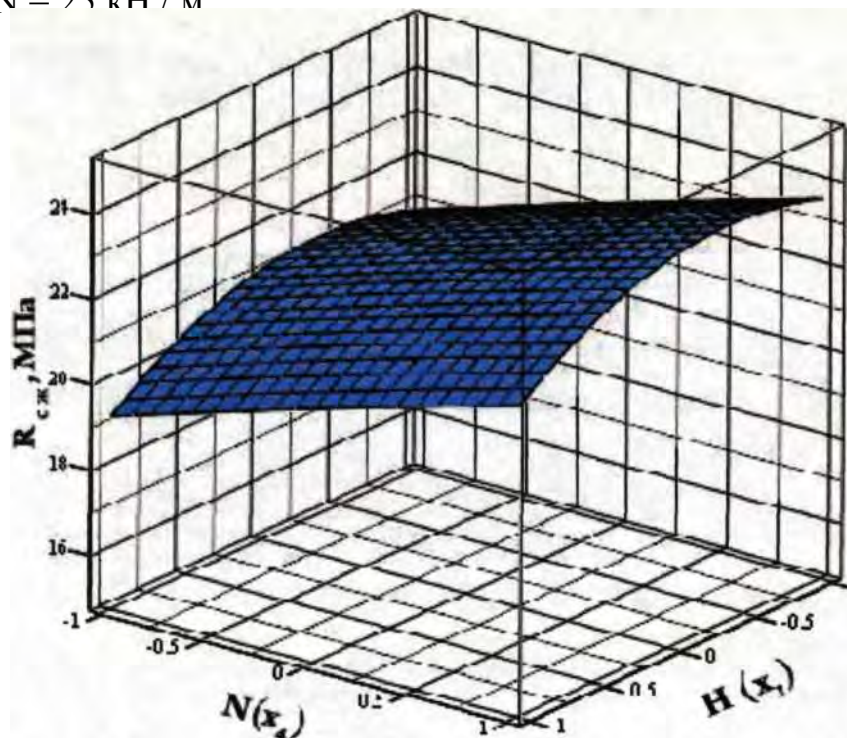


Рисунок 3.20 - Залежність міцності торкрет-бетону від натягу пневмоопалубки  $N$  і відстані від сопла  $H$  при діаметрі сопла  $D = 10$  мм. і продуктивності торкрет-машини  $Q = 3,0$  м<sup>3</sup> / год.

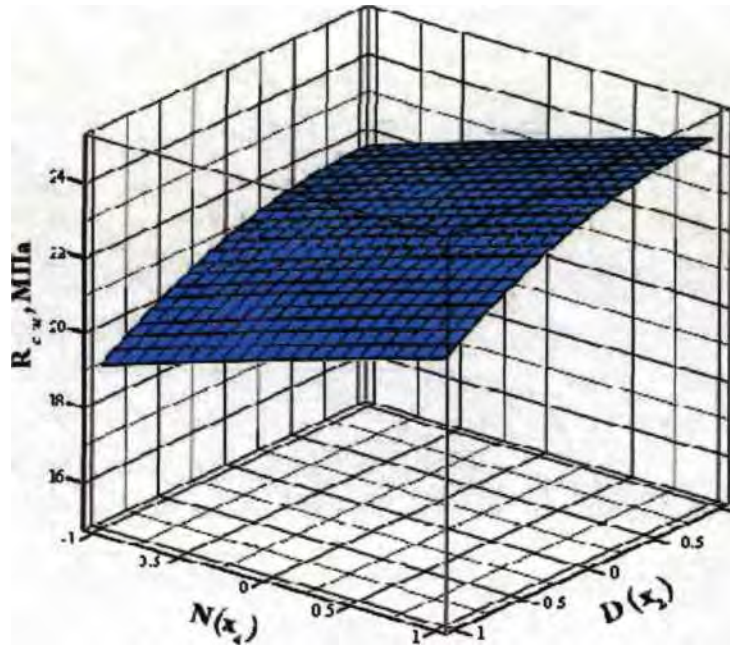


Рисунок 3.21 - Залежність міцності торкрет-бетону від натягу пневмоопалубки  $N$  і діаметра сопла  $D$  при відстані від сопла  $H = 1,0$  м, і продуктивності торкрет-машини  $Q = 3,0$  м<sup>3</sup> / год.

На рисунку 3.22 представлені графіки залежності міцності торкретбетону від продуктивності установки при відстанях  $H$ , рівних 0,5, 1,0 і 1,5 м.

Кожен графік являє собою криву, близьку за своїм характером до параболи. При збільшенні продуктивності подачі суміші міцність бетону спочатку зростає до певного значення, а потім знижується. Точці перегину параболи відповідає величина продуктивності  $Q$ , значення якої становить 3,0 м<sup>3</sup> / год.

Міцність бетону в точці перегину на графіках має наступні значення:

- при висоті  $H = 1,5$  м величина  $R = 22,5$  МПа;
- при висоті  $H = 0,5$  м величина  $R = 23,0$  МПа;
- при висоті  $H = 1,0$  м величина  $R = 23,8$  МПа.

При цьому, в сімействі трьох кривих верхньої з них є крива, відповідна відстані  $H$ , рівному 1,0 м. За - мабуть, це обумовлено тим, що при менших відстанях від сопла до оброблюваної поверхні відбувається відкидання суміші від гнучкої опалубки, збільшення її пористості і відповідно зниження міцності бетону.

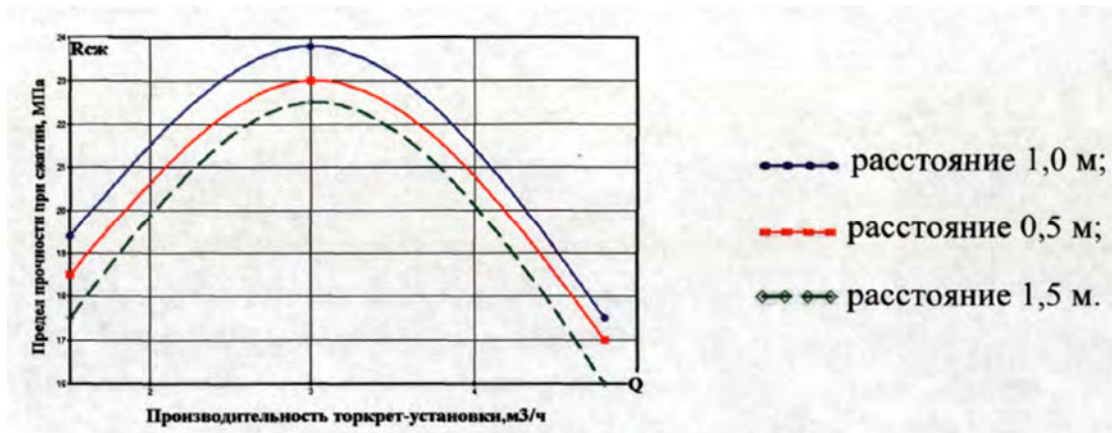


Рисунок 3.22 - Залежність міцності  $R_{сж}$  торкрет-бетону від продуктивності установки  $Q$  при максимальному натягу марки  $N = 50$  кН / м, діаметрі сопла  $D = 20$  мм і різних відстанях  $H$  до пневмоопалубки

При відстані  $H$  більше 1 м. (Хоча відскік суміші зменшується) з - за розширення повітряного потоку в факелі швидкість польоту суміші і, відповідно, кінетична енергія потоку суміші зменшується, що супроводжується зменшенням ущільнення торкрет-бетону.

Таким чином, значення висоти  $H = 1,0$  м є раціональним з точки зору максимального ущільнення суміші і, відповідно, міцності торкрет-бетону.

На рисунку 3.23 показані в графічному вигляді залежності міцності бетону від відстані до оброблюваної поверхні при різному натягу тканини (діаметр сопла 10 мм).

З них випливає, що при всіх значеннях сили натягу максимальна міцність торкрет - бетону досягається при відстані  $H = 1,0$  м. При цьому, чим більше значення сили натягу, тим міцність має велику величину. У точках перегину міцність бетону має наступні значення:

- при натягу  $N = 5$  кН / м міцність  $R = 18$  МПа;
- при натягу  $N = 15$  кН / м міцність  $R = 19,2$  МПа;
- при натягу  $N = 25$  кН / м міцність  $R = 20,6$  МПа.



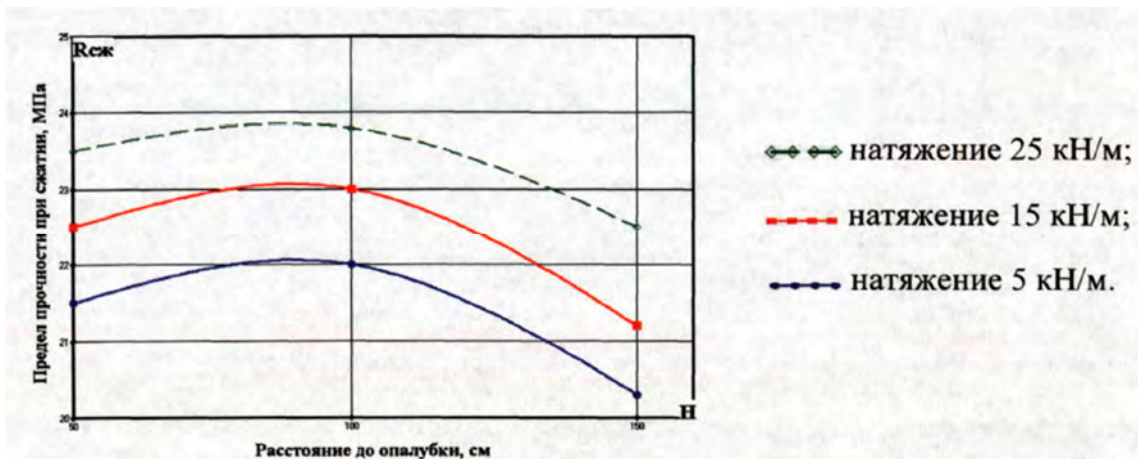


Рисунок 3.23 - Залежність міцності R торкрет-бетону від відстані Н до пневмоопалубки при продуктивності установки  $Q = 3\text{ м}^3 / \text{г}$ , діаметрі сопла  $D = 10$  мм при різних значеннях натягу тканини N.

З порівняння отриманих значень слід, що при збільшенні сили натягу від 5 до 25 кН / м міцність бетону зростає на 14,4%.

З цього випливає, що для торкретування бетонних сумішей на пневмоопалубку необхідно домагатися максимального натягу гнучких елементів.

В результаті досліджень встановлено залежність міцності торкретбетону від величини діаметра сопла. На рисунку 3.24 показані графіки функції  $11сж = f$  (O) при середніх значеннях продуктивності установки і висоти сопла для трьох величин натягу тканини пневмоопалубки (5, 15, 25 кН / м).

Як бачимо з вищенаведеного рисунка, ці графіки є прямолінійні залежності зі зворотним ухилом до осі абсцис (зворотна пропорційна залежність). Збільшення діаметра сопла призводить до зниження міцності бетону, що, мабуть, пов'язано зі зменшенням швидкості потоку і, відповідно, ущільнення при падінні його на поверхню пневмоопалубки. При цьому підтверджується інша закономірність: чим вище натяг тканини, тим вище розташований графік залежності  $O = f(D)$ .

Аналізуючи верхній графік на рисунку 3.24, можна відзначити, що при збільшенні діаметра сопла від 10 до 30 мм міцність бетону знижується до 8%.

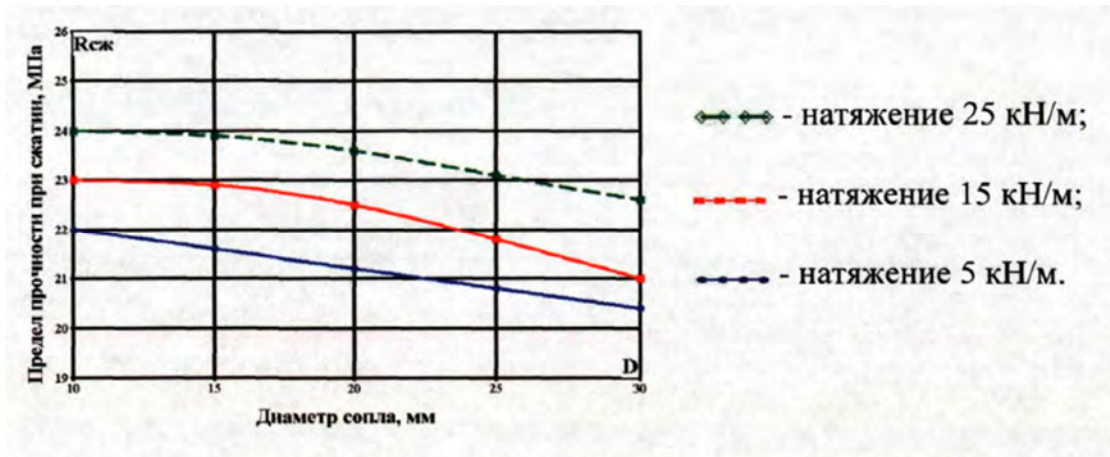


Рисунок 3.24 - Залежність міцності  $R$  торкрет-бетону від діаметра сопла  $D$  при продуктивності установки  $Q = 3 \text{ м}^3 / \text{г}$ , відстані до пневмоопалубки  $H = 1,0 \text{ м}$  при різному натягу тканини  $N$

Експериментально встановлено, що величина міцності торкрет-бетону залежить від сили натягу тканини м'якої опалубки. На рисунку 3.25 показано сімейство графіків  $R = f(N)$  при різних значеннях продуктивності установки: 1,5; 3,0; 4,8  $\text{м}^3 / \text{год}$ .

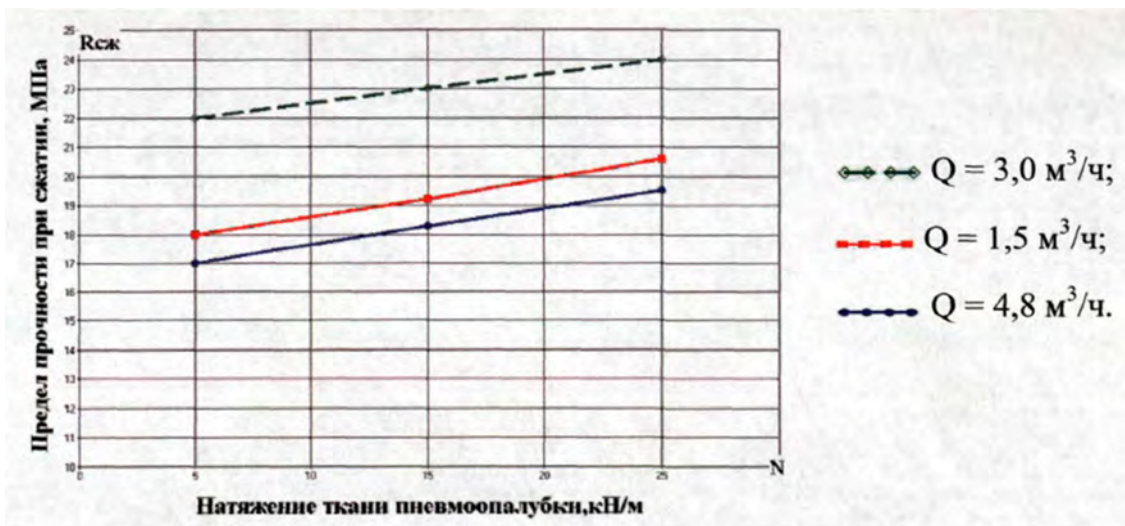


Рисунок 3.25 - Графіки залежності міцності  $R$  від сили натягу тканини  $N$  при діаметрі сопла  $D = 10 \text{ мм}$ , відстані до марки  $H = 1 \text{ м}$  і різних значеннях продуктивності установки  $Q$

Аналіз графіків на цьому рисунку показує, що вони мають лінійний характер: чим більше сила натягу марки, тим більше міцність бетонної суміші.

В ході експериментальних досліджень впливу різних технологічних параметрів на міцність торкрет-бетону була проведена серія експериментів з визначення міцності зразків торкрет-бетону на вигин. На рисунку 3.26 представлені у вигляді графічних залежностей дані міцності на вигин Яізг при зміні відстані від сопла до оброблюваної поверхні для гнучкої тканини з різним натягом.

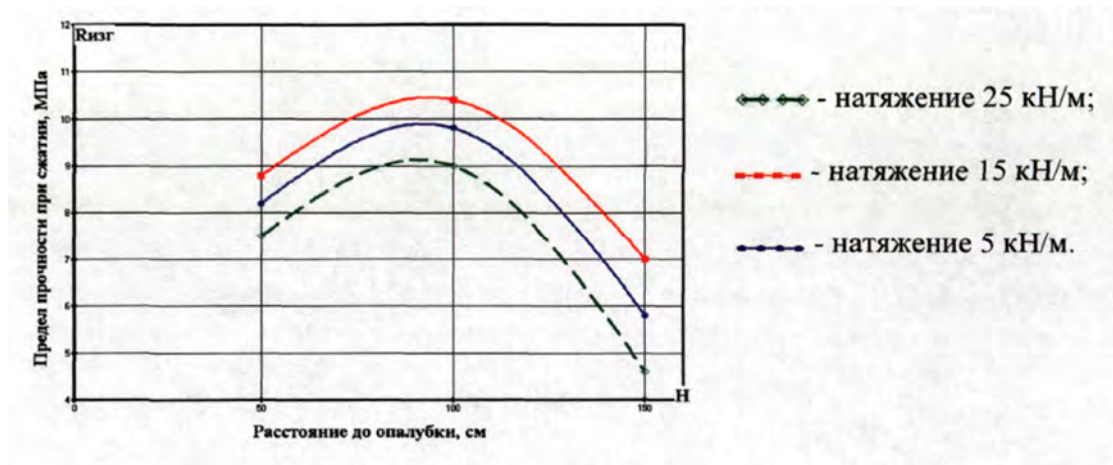


Рисунок 3.26 - - Графіки залежності міцності R при діаметрі сопла  $D = 20$  мм, продуктивності установки  $Q = 3$  м<sup>3</sup>/г, натягу 5, 15, 25 кН / м. при різному натягу тканини N

## ВИСНОВКИ

1. Типи стикових з'єднань «обладнання – фундамент» мають суттєві відмінності між собою. Відмінності ці виявляються в особливостях тимчасового фіксування важкого промислового обладнання, а також технології влаштування підливальної суміші.

2. Незалежно від типу з'єднань «обладнання - фундамент» вимоги до технології влаштування бетонної підливи під промислове обладнання ідентичні - необхідно заповнити сумішню підливного складу монтажний зазор між поверхнею фундаменту та станиною обладнання за обов'язкової умови забезпечення відсутності великих пір та раковин у матеріалі підливи у максимально короткий проміжок часу.

3. Запропоновано новий технологічний метод виробництва підливних робіт з використанням додаткового вібрування з боку віброоргану, конструктивно розташованого в бетонній суміші.

4. Досягнуто скорочення часу виконання робіт з влаштування підливи під технологічне промислове обладнання в 1,6 рази порівняно з традиційними способами виконання монтажної підливи. Затверджений технологічний регламент дозволяє скоротити час виконання робіт у 1,5 рази.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов Л.И., Манаенкова Э.Ф. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: учеб. для вузов. Київ, 1990. 400 с.
2. Абелев М.Ю. Аварии фундаментов сооружений: учеб. пособие. Київ, 1975. 85 с.
3. Альбом усовершенствованных железобетонных конструкций для капитального ремонта жилых домов. Київ, 1988. 100 с.
4. Андрушкявичюс А. З. Методы комплексной реконструкции исторического центра старого города: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Вильнюс, 1984. 212 с.
5. Андре К. Досвід реконструкції центрів: довідник. Харків, 2000, 44 с.
6. Атаєв С.С., Данилов М.М., Прикіна Б.В. Технологія будівельного виробництва: навч. посіб. Київ: Недра, 2001. 599 с.
7. Афанасьев А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона: учеб. пособие. Київ: СИ, 1990. 376 с.
8. Бешелев С.Д., Гуревич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок: учеб. пособие. Київ: Статистика, 1980. 163 с.
9. Борисов В.І. Проблеми векторної оптимізації. *Дослідження операцій*. Київ: Наука, 2005. С. 72-91.
10. Брахман Т.Р. Багатокритеріальної і вибір альтернативи в техніці: навч. посіб. Харків: Радио и связь, 2001. 288 с.
11. Брук Б.Н., Бурков В.Н. Методы экспертных оценок в задачах упорядочения объектов. *Изв. АН СССР*, 1972. № 3. С. 29-39.
12. Бубес Е.Я., Попов Г.Т., Шарлигіна К.А. Оптимальне перспективне планування капітального ремонту та реконструкції житлового фонду: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2008. 190 с.
13. Булгаков С.Н. Технологичность бетонных конструкций и проектных решений: учеб. пособие Київ: СИ, 2005. 303 с.

14. Вилкас Э. Теория полезности и принятие решений. *Математические методы в социальных науках*. Вильнюс, 2001. Вып.1. С.13-60.
15. Вилкас Э. Многоцелевая оптимизация. *Математические методы в социальных науках*. Вильнюс, 2002. Вып.7. С.17—67.
16. Глотов В.А., Гречко В.М., Павельев В.В. Экспериментальное сравнение некоторых методов определения коэффициентов относительной важности. *Многокритериальные задачи принятия решений*. Киев: Машиностроение, 2005. С.156-168.
17. Гусаков А.А. Організаційно-технологічна надійність будівельного виробництва: навч. посіб. Київ, КНУБА, 2010. 254 с.
18. Гусаков А.А. Основи проектування організації будівельного виробництва (в умовах АСУ) : навч. посіб. Київ, КНУБА, 2009. 288 с.
19. Гусаков А.А. Системотехніка в будівництві: навч. посіб. Київ: Недра, 2010. 440 с.
20. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения: пер. с англ. Київ: Мир, 2003. 491 с.
21. Євланов Л.Г. Теорія і практика прийняття рішень: навч. посіб. Харків: Економіка, 1984. 176 с.
22. Євланов Л.Г., Кутузов В.А. Експертні оцінки в управлінні: навч. посіб. Київ: Економіка, 2002. 133 с.
23. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений: метод.ук. Київ:Знание, 1985. 32 с.
24. Завадскас Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве: уч. пособие. Вильнюс: Мокслас, 2010. 210 с.
25. Завадскас Э.К. Основы оптимизации строительного производства. - Вильнюс, 1979. - 76 с.
26. Інструкція по розробці проектів організації і проектів виробництва робіт з капітального ремонту житлових будинків. Київ, 1995. 19 с.
28. Колотілкін Б.М. Долговечность житлових будинків: навч. посібник. Київ: СІ, 2003. 254 с.

29. Краснекер А.С. Задачи и методы векторной оптимизации. *Измерения, контроль, автоматизация*. 1975. №1, вып.3. С.51-53
30. Кутуков В.Н. Реконструкція будівель: навч. посібник. Київ.: ВШ, 2008. 263 с.
31. Макаров И.М., Виноградская Т.М. Теория выбора и принятия решения: уч. пособие. М.: Наука, 1982. 327 с.
32. Матвеев Е.П. Технологія реконструкції житлових будівель методом вбудованих будівельних систем: дис...канд.техн.наук: 05.23.08 / Одеса:ОДАБА, 2005. 286 с.
33. Мешічек В.В., Ройтман А.Г. Капітальний ремонт, модернізація та реконструкція житлових будинків: навч. посібник. Київ: СІ, 2005. 241 с.
34. Миловидов Н.Н., Осин В.А., Шумилов М.С. Реконструкція житлової забудови. Київ, 2000. 240 с.
35. Михалко В.Р. Ремонт конструкцій великопанельних будинків. Київ.: СІ, 2000. 311 с.
36. Монфред Ю.Б., Финельд В.П. Рекомендації з аналізу технологічності серій типових проектів будівель ТЕС. Харків: 1995. 89 с.
37. Нейман Д. фон, Моргенштерн 0. Теория игр и экономическое поведение : Пер. с англ. Київ:Наука, 1970. 707 с.
38. Ніколаєв С. В. Збірний залізобетон: вибір технологічних рішень. Дніпро, 1999. 240 с.
39. Олейник П.П., Фомиль Л.Ш. Інженерна підготовка території будівельного майданчика промислового підприємства: навч. Посібник. Київ. :СІ, 2006. 240 с.
40. Олейник П.П. Удосконалення організації будівельного виробництва. *Промислове будівництво*. Харків: 1999. N 9 с. 14 - 15.
41. Олійник П.П. Вибір раціональних організаційних рішень для реконструкції підприємств. *Економіка будівництва*. Київ: 1993. N0 3. с.20 - 25.
42. Онуфриев Н.М. Посилення залізобетонних конструкцій промислових будівель і споруд. Львів, 1998. 342 с.

43. Организация, планирование и управление строительством / Под ред. А. К. Шрейбера. Київ:ВШ, 1977. 352 С.
44. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальні рішення багатокритеріальних задач. Київ.:Наука, 2003. 254 с.
45. Подиновский В. В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. *Многокритериальные задачи принятия решений*. Київ:Машиностроение, 1978. С. 48-82.
46. Поляков Е.В. Реконструкція та ремонт житлових будинків: навч. посібник. Київ: НЕДРА, 1997. 192 с.
47. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Технічна експертиза житлових будинків старої споруди. Львів: СІ, 2003. 254 с.
48. Проблемы социально-экономической эффективности реконструкции кварталов и микрорайонов в больших городах / Е.М.Блех, А.Ю.Жданькова, Е.Я. Сокова. Київ: МГЦНТ, 1982. 23 с.
49. Б. Гольдин, В.Л.Вольфсон, А. И. Папков. Виробництво ремонтно-будівельних робіт: довідник. Львів:СІ, 2010. 238 с.
50. Рекомендации по рациональному применению железобетонных конструкций при капитальном ремонте жилых зданий. Київ :СИ, 1989.
51. Ройтман А.Г., Смоленська Н.М. Ремонт і реконструкція житлових і громадських будівель. Харків, 2003. 317 с.
52. Ройтман А.Г. Надійність конструкцій експлуатованих будівель. Харків.:СИ, 2003. 176 с.
53. Ройтман А.Г. Оптимизация технических решений ремонта конструкций эксплуатируемых жилых зданий : Консп.лекций /ЦМИПКС. Київ: 1999.29 с.
54. Соколов В.К. Реконструкція будівель ТЕС: навч. посібник. Київ, 2003. 204 с.
55. Тимохов Г.Ф. Модернізація житлових будинків. К.: СІ, 2000. 191 с.
56. Вказівки по технології ремонтно-будівельного виробництва. Кн.1: Загальнобудівельні роботи / Під общ.ред. С.Д.Хі- Мунін. Київ: СІ, 2005. 432 с.
57. Швець В.Б., Фёклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція



фундаментів. Харків: СІ, 2002. 203 с.

58. Шрейбер А.К. и др. Организация и планирование строительного производства. Київ :ВШ, 1987. 368 С.

59. Шрейбер К.А. Многокритериальная оценка проектов реконструкции жилых зданий. *Передовой опыт в строительстве Москвы*, No 6. Київ: 1986.

60. Шрейбер К.А. Варіантне проектування при реконструкції будівель ТЕС. Харків.:СІ, 2006. 232 с.

61. Шумилов М.С. Будівлі ТЕС та їх технічна експлуатація. К: ВШ, 2005. 376 с.

62. Яворский В.Г. Монтаж строительных конструкций при реконструкции зданий: уч.пос. Киев.: Будівельник, 2001. 233 с.

63. Bernoulli D. Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 1738, 5, pp. 175-192.

64. Mesarovic M.D. Multilevel concept for systems engineering, Proc. Systems End. Conf., Chicago, 111, 1965.

65. Oxley R., Poskitt J. Management techniques applied to the construction industry. London, Toronto, New York : Crosby Lockwood Staples Granada Pub. 1979.