

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення технології бетонування порожнин під днищами
промислового устаткування методом нагнітання

Виконав: студент 2 курсу,

групи 8.1929-пцб

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Промислове і цивільне будівництво»

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації -

(код і назва спеціалізації)

В.Ю. Воробйов

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. Юхименко А.І.

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

Рецензент проф, д.е.н. Анін В.І.

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

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

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.
« _____ » 20 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

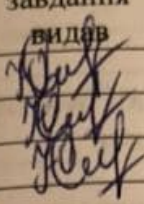

Воробйову Віктору Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Удосконалення технології бетонування порожнин під днищами промислового устаткування методом нагнітання
 - 2 керівник роботи Юхименко Артем Ігорович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року №598-с
- 3 Строк подання студентом роботи 09.12.2020 р.
 - 4 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
 - 5 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести аналіз існуючих способів бетонування порожнин. Виконати удосконалення технології бетонування методом нагнітання суміші. Провести експериментальні дослідження та вивести основні положення технології
 - 6 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

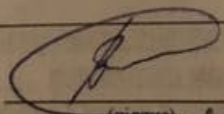
7 Консультанти розділів роботи

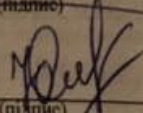
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Юхименко А.І., доц.		
Розділ 2	Юхименко А.І., доц.		
Розділ 3	Юхименко А.І., доц.		

8 Дата видачі завдання 14.09.2020 р.

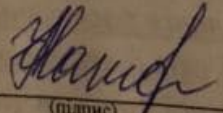
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1 Аналіз існуючих способів бетонування порожнин	23 жовтня	
2	Розділ 2 Удосконалення технології бетонування порожнин	15 листопада	
3	Розділ 3 Експериментальні дослідження технології та її основні положення	4 грудня	

Студент  В.Ю. Воробйов
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи  А.І. Юхименко
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Н.О. Данкевич
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Воробйов В.Ю. Удосконалення технології бетонування порожнин під днищами промислового устаткування методом нагнітання.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник А.І. Юхименко. Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету. Кафедра промислового та цивільного будівництва, 2020.

Удосконалена нагнітальна технологія, яка відрізняється від існуючих тим, що бетононасосна техніка подає самоущільнену суміш в центр порожнини за допомогою бетоноводу. Передбачуваними перевагами представленої технології є зняття обмежень по висоті порожнини і можливість якісного заповнення обсягу при наявності технологічних включень в товщі бетонуємої порожнини, зменшення трудовитрат у порівнянні з існуючими способами. Виявлено параметри, що впливають на якість заповнення порожнини, які дозволяють прогнозувати кінцевий результат даної технології бетонування порожнин. Розроблено класифікацію конструктивних типів порожнин, в складі якої наведені рекомендації по їх бетонування.

Ключові слова: БЕТОНУВАННЯ, НАГНІТАННЯ, ПРОМИСЛОВЕ УСТАТКУВАННЯ, БЕТОНОНАСОС.

Список публікацій магістранта:

Воробйов В. Ю., Юхименко А.І. Удосконалення технології бетонування порожнин під днищами промислового устаткування методом нагнітання. Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІННІ ЗНУ Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. С. 172-173.

АННОТАЦИЯ

Воробьев В.Ю. Совершенствование технологии бетонирования полостей под днищами промышленного оборудования методом нагнетания.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель А.И. Юхименко. Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета. Кафедра промышленного и гражданского строительства, в 2020.

Усовершенствованная нагнетательная технология, которая отличается от существующих тем, что бетононасосная техника подает самоуплотняющуюся смесь в центр полости с помощью бетоновода. Предсказуемыми преимуществами представленной технологии является снятие ограничений по высоте полости и возможность качественного заполнения объема при наличии технологических включений в толще бетонированной полости, уменьшение трудозатрат по сравнению с существующими способами. Выявлены параметры, влияющие на качество заполнения полости, которые позволяют прогнозировать конечный результат данной технологии бетонирования полостей. Разработана классификация конструктивных типов полостей, в составе которой приведены рекомендации по их бетонированию.

Ключевые слова: БЕТОНИРОВАНИЕ, НАГНЕТАНИЕ, ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, БЕТОНОНАСОСЫ .

Список публикаций магистранта:

Воробьев В. Ю., Юхименко А.И. Совершенствование технологии бетонирования полостей под днищами промышленного оборудования методом нагнетания. Материалы XXV научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей ИУНИ ЗНУ. Запорожье: ИУНИ ЗНУ, 2020. С. 172-173.

ANNOTATION

Vorobiev V. Yu. Improvement of the technology of concreting cavities under the bottoms of industrial equipment by the injection method.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in the specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific supervisor A.I. Yukhimenko. Engineering Educational and Scientific Institute of Zaporozhye National University. Department of Industrial and Civil Engineering, in 2020.

Improved injection technology, which differs from existing ones in that the concrete pumping technique delivers the self-compacting mixture to the center of the cavity using a concrete pipeline. The predictable advantages of the presented technology are the removal of restrictions on the height of the cavity and the possibility of high-quality filling of the volume in the presence of technological inclusions in the thickness of the concreted cavity, and a decrease in labor costs in comparison with existing methods. The parameters influencing the quality of filling the cavity, which allow predicting the final result of this technology of concreting the cavities, are revealed. A classification of structural types of cavities has been developed, which includes recommendations for their concreting.

Key words: CONCRETE, DISCHARGE, INDUSTRIAL EQUIPMENT, CONCRETE PUMPS.

List of publications of the undergraduate:

Vorobiev V. Yu., Yukhimenko A. I. Improvement of the technology of concreting cavities under the bottoms of industrial equipment by the injection method. Materials of the XXV scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students, young scientists and teachers of INNI ZNU. Zaporizhzhia: INNI ZNU, 2020. P. 172-173.

ЗМІСТ:

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ БЕТОНУВАННЯ ПОРОЖНИН	11
1.1 Методи і способи бетонування порожнин під днищами промислових апаратів	11
1.1.1 Способи подачі бетонної суміші в конструкцію	18
1.2 Порівняльний аналіз бетононасосної техніки	21
1.3 Вимоги до бетонних сумішей подаються бетононасосом і обґрунтування вибору самоущільнених бетонних сумішей	27
1.3.1 Вимоги до СУБС	30
1.4 Огляд конструктивних типів порожнин і їх класифікація	34
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНУВАННЯ ПОРОЖНИН	36
2.1 Теоретичні основи для удосконалення методу бетонування порожнин	36
2.1.1 Вплив конструктивних особливостей порожнини	37
2.2 Технологія бетонування порожнин методом нагнітання	43
2.3 Теоретичне обґрунтування параметрів процесу переміщення бетонних сумішей в порожнині	46
2.4 Визначення показника якості заповнення порожнини і його оцінка	53
2.5 Технологічна послідовність (регламент) виконання робіт по влаштуванню бетонування	71
2.6 Рішення щодо вибору опалубки і виконання опалубних робіт	77
3 ЕКСПЕРИМЕНАТЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ	88
3.1 Характеристики об'єкта	88

3.2 Експериментальне устаткування і оснащення	93
3.3 Особливості технології бетонування порожнини під промисловим обладнанням	104
3.4 Рекомендації з бетонування різних конструктивних типів порожнин	
ВИСНОВКИ	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	117

ВСТУП

Актуальність теми. Однією з основних тенденцій розвитку машинобудівної, хімічної, енергетичної та інших галузей промисловості є збільшення одиничної потужності агрегатів, що призводить до необхідності монтажу укрупнених вузлів, що мають значну площу опорних площин. Після монтажу і установки в проектне положення таких вузлів між основою і їх опорною поверхнею утворюється простір з доступом по периметру опорної площини апарату. Ці порожнини можуть мати включення у вигляді окремих трубопроводів для подачі охолоджуючих рідин, газів, електроенергії і т.п.

У масивних конструкціях після вивірки горизонтальності і вертикальності на спеціальних монтажних опорах необхідно зафіксувати це вивірене положення, тому найбільш раціональним є варіант з подальшим заповненням порожнини під апаратом бетонної або іншої будівельної сумішшю. Відомі способи бетонування порожнин під днищами апарату мають наступні недоліки: низька швидкість заповнення бетонною сумішшю, часто неможливість подачі бетонної суміші з декількох сторін в зв'язку з небезпекою утворення повітряних порожнин, застосування малорухомих сумішей, що вимагають застосування додаткового вібраційного впливу, обмеження по висоті порожнини і їх насиченню технологічними прокладками.

Таким чином, очевидна необхідність в розробці більш досконалих технологічних рішень бетонування порожнин із застосуванням примусової подачі і самоущільнених бетонних сумішей (СУБС) під обладнання, що забезпечують необхідну продуктивність, зменшення трудомісткості робіт при високій якості структури монолітного шару, можливість бетонування зазорів, що перевищують по висоті нормативні, насичених технологічними включеннями при скороченні використання нестандартного обладнання.

Об’єкт дослідження — будівельні технологічні процеси при бетонуванні порожнин, насичених технологічними прокладками, з примусовою подачею самоущільнених бетонних сумішей.

Предмет дослідження — параметри технологічних процесів при бетонуванні порожнин, технологічними прокладками, з примусовою подачею самоущільнених бетонних сумішей; фактори, що впливають на збереження рухливості бетонної суміші.

Методи досліджень включали узагальнення і аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду ремонту будівель, сучасного стану теорії і практики процесів бетонування, аналіз технологічних, теоретичних досліджень та аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна досліджень і отриманих результатів полягає в тому, що:

- вдосконалений метод бетонування порожнин під промисловим обладнанням із застосуванням бетононасосної техніки і самоущільнених бетонних сумішей, що забезпечує ефективне заповнення бетонною сумішшю порожнини з високим ступенем однорідності забетонувати обсягу з урахуванням сучасних вимог до порожнин під великогабаритними апаратами;

- визначен параметр, що дозволяє кількісно оцінити фактичну якість заповнення порожнин. Складено функціональна залежність цього показника від шести змінних, що дозволяє прогнозувати якість заповнення порожнини.

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на XXV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІННІ ЗНУ у секції «Проблеми сучасного будівництва екологічної безпеки та охорони праці» (2020, м. Запоріжжя).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 121 сторінок. Включає 38 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел з 65 пунктів.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ БЕТОНУВАННЯ ПОРОЖНИН

1.1 Методи і способи бетонування порожнин під днищами промислових апаратів

Бетон є найпоширенішим матеріалом застосовуваним в промисловому і цивільному будівництві. Поряд зі збірним залізобетоном, монолітні бетонні роботи є основним способом зведення будівель і споруд різного призначення. При зведенні великогабаритних, унікальних і ін. Споруд, монолітне бетонування часто є єдино можливим варіантом виконання робіт. Даною проблемою займалися вітчизняні вчені та інженери: Анпилов С.М. [3], Белов В.Щ [17], Євдокимов Н.Щ [40], Кірні А.С. [43], Мацкевич А.Ф., Полтавців С.Щ [3], Саричев В.С. [40], Хаютін Ю.Г. [41].

Завершальною операцією при монтажі великогабаритного устаткування на фундамент, після вивірки конструкції в проектному положенні, є заповнення порожнини бетонної сумішшю між підставою конструкції і фундаментом під обладнання.

Рішенням завдання бетонування порожнин займалися такі вчені та інженери: Арабаджян І.Р. [4; 23; 24], верст В.В. [26-28], Панарін С.Щ [35-37], Романовський В.М. [26], Тішкін Д.Д. [27], Хайковіч Д.М. [29; 30] та ін.

Відомий спосіб заповнення порожнин бетоном під великогабаритне промислове обладнання із застосуванням методу механічного трамбування або зачеканювання [41]. Основною особливістю даного способу є порційна, механічна доставка бетонної суміші для заповнення технологічної порожнини з використанням механічних пристроїв. Ущільнення відбувається за рахунок механічного, ручного «трамбування». Даний спосіб надійний і простий, але може застосовуватися тільки при малій площі підстави та в маловідповідальних конструкціях. Очевидні недоліки способу: великий обсяг ручної праці і низька

продуктивність.

Технологія механічного зачеканювання пристрої підливи бетонної суміші під промислове обладнання здійснюється наступним чином. За закінченні установки устаткування на фундамент, вивірки і надійного закріплення на певній відстані від станини змонтованого обладнання (Рис 1.1, поз. 2) встановлюють опалубку (поз. 1) з трьох сторін.

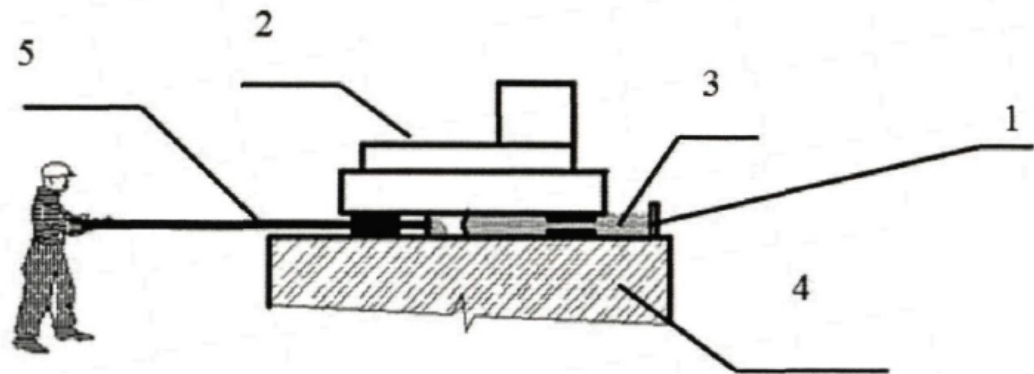


Рисунок 1.1 - Бетонування порожнини під промисловим обладнанням із застосуванням методу механічного зачеканювання: 1 - опалубка; 2 - обладнання; 3 - підлівоchnа суміш; 4 - фундамент; 5 - ручний інструмент

Сторона, що має найбільш протяжність в плані не опалублюється. Потім приступають до порціонної подачі бетонної суміші, заповнюючи в першу чергу місця установки опалубки. У міру заповнення опалубки з протилежного боку виробляють зачеканення технологічного зазору бетонної сумішшю із застосуванням спеціальних ручних інструментів. Бетонна суміш з осіданням конуса 5-9 см розкладається на опорній частині фундаменту у вигляді призми з розмірами 150x50x Б мм, де Б довжина фундаменту. Потім використовуючи скребок, доставляють порції бетонної суміші до місця стику з раніше укладеною. Після закінчення одного повного проходу зачеканки по всій довжині фундаменту виробляють Шурує виконаного стику, тим самим зміцнюючи бетонну суміш. Роботи проводять до повного заповнення бетонною сумішшю порожнини. Потім встановлюють опалубку з відкритою боку і також заповнюють бетонною

сумішшю. Після по поверхні бетону проходять трамбівкою до появи, на поверхні укладеної бетонної суміші, цементного молока. Заключною операцією є загладжування поверхні, додатково провівши поверхнєве ущільнення верхнього шару бетонної суміші.

Переваги методу наступні:

- відсутність розшарування бетонної суміші по висоті;
- роботи можна виконувати в важкодоступних місцях, де немає можливості під'їзду важкої будівельної техніки.

Недоліки даної технології наступні:

- висока частка ручної праці;
- низька продуктивність;
- обмеження по площі порожнини.

Даний метод застосовується в основному для бетонування порожнин під технологічним обладнанням мають невеликі розміри в плані до 1,0x2,0 м, або як додаткові заходи при влаштуванні підлив способами вібраційних впливів на бетонну суміш.

Першим нормативним узагальнюючим документом, з рекомендованим способом заповнення порожнин під обладнанням, були «Вказівки по бесподкладочной монтажу устаткування підприємств хімічної промисловості» [24] виданим Міністерством монтажних і спеціальних будівельних робіт СРСР в 1968 році.

Вказівки поширювалися на монтаж і підливу бетонної суміші під обладнання, що застосовується у хімічній промисловості: компресори, насоси, центрифуги, фільтри, тощо, за винятком апаратів колонного і баштового типу, що вимагають закріплення анкерними болтами після установки на фундаменти до зняття такелажних засобів .

Ці вказівки служили керівництвом для проектних, монтажних і будівельних організацій, а також для виробників обладнання в частині належних до них вимог (Рис. 1.2).

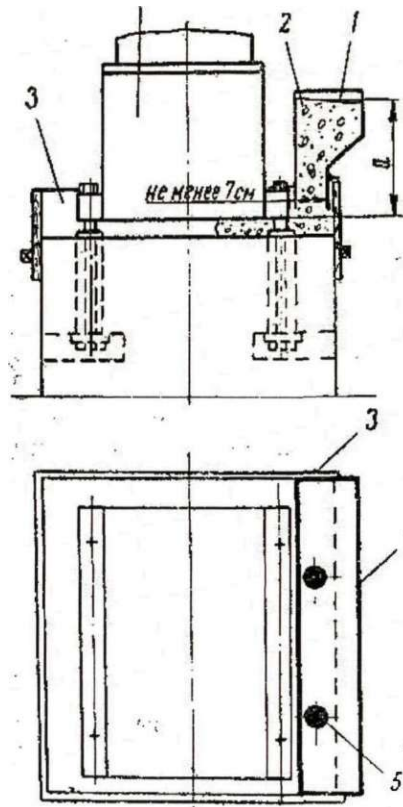


Рисунок 1.2 - Вібраційна підлива: 1 - лоток-накопичувач (жерстяної або дерев'яний); 2 - бетонна суміш; 3 - опалубка; 4-монтуюме обладнання; 5 - вібратор

У вказівці рекомендуються такі параметри і технологічні вимоги:

- Застосовувати при бетонуванні жорсткі бетонні суміші;
- Висота опалубки повинна перевищувати рівень підстави апарату як мінімум на 40 мм;
- Вібралоток по ширині повинен не перевищувати 3м;
- Вібрація припиняється тільки після появи бетонної суміші з протилежного боку підстави;
- При великих площах підливи, в центральній частину підстави влаштовуються отвори для штиковкой бетонної суміші.

Як видно з цього переліку вимог, багато параметрів вказані узагальнено і не завжди застосовні до конкретного об'єкта монтажу і бетонування [36]. Так

наприклад застосування жорстких бетонних сумішей накладає обмеження на розміри днищ і вимагає уточнення. У багатьох випадках пристрій отворів в підставі просто не допустимо, тому необхідне застосування інших технологічних прийомів. Технологія пристрою підливи під устаткування із застосуванням вібраційного впливу на бетонну суміш є більш прогресивною по відношенню до методу механічного зачеканювання. Нижче представлена технологічна схема способу підливи бетонної суміші під великогабаритне промислове обладнання на заключному етапі його монтажу із застосуванням додаткового вібрування.

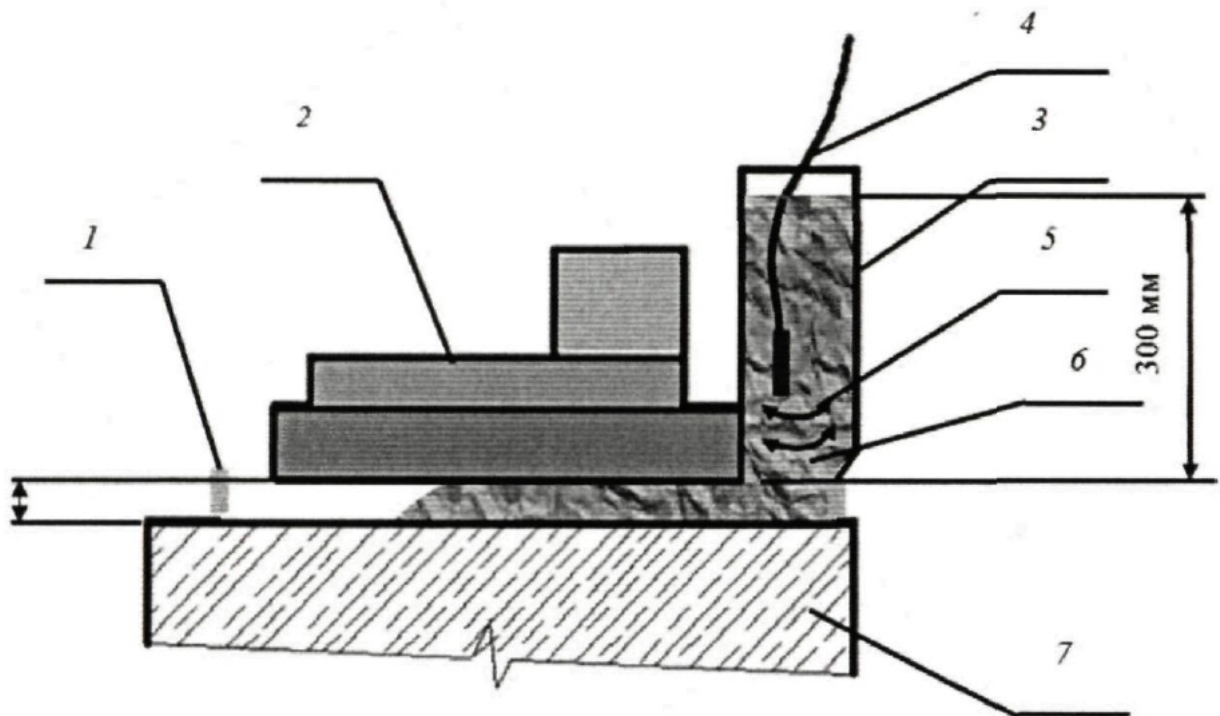


Рисунок 1.3 - Пристрій бетонної підливи під великогабаритне промислове обладнання із застосуванням способу вібраційного впливу: 1 - опалубка; 2 - обладнання; 3 - лоток- накопичувач; 4 - вібратор; 5 - подлівоочная суміш; 6 – фундамент

Наступним етапом розвитку технології бетонування порожнин було спосіб підливи бетонної суміші під технологічне обладнання на заключному етапі його монтажу [27], що включає установку опалубки по контуру фундаменту і лотка-

накопичувача з вхідними в його склад зануреними вібраторами, вібраційну обробку бетонної суміші в технологічному зазорі між станиною обладнання та фундаментом ведуть на всьому шляху її руху від лотка-накопичувача до віброобойми за допомогою стрижнів, розміщених по всій площі підливи, торці яких закріплені в жорсткій віброобойме, розташованій на протилежному від лотка-накопичувача стороні обладнання. Спосіб розроблений колективом співавторів верстовими В.В., Тишкіна Д.Д., Романовським В.К. [22].

Пристрій підливи під устаткування (Рис. 1.4) проводиться із застосуванням додаткового віброоргана, наявного в обсязі подлівового простору і являє собою ряд стрижнів діаметром 8-12 мм (поз. 5), що розташовуються з кроком 200-400мм перпендикулярно довгій стороні обладнання, при цьому торці стрижнів пов'язують між собою обоймою із закріпленням на ній вібратором поздовжніх коливань (поз. 9).

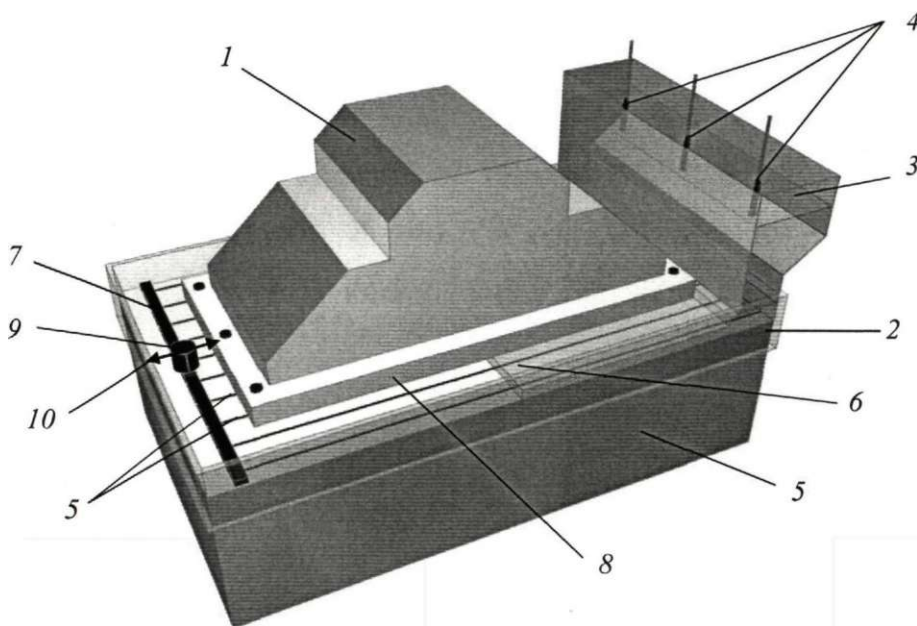


Рисунок 1.4 - Технологічна схема пристрою підливи під устаткування при додатковому вібраційному впливі на бетонну суміш: 1 - обладнання; 2 - опалубка; 3 - лоток- накопичувач; 4 - основний вібратор; 5 -металеві стрижні; 6 - бетонна суміш підливи; 7 - віброобойма; 8 - станина обладнання; 9 - додатковий вібратор; 10 – напрямок коливань; 11 - фундамент

Спосіб підливи здійснюється наступним чином. На певній відстані від станини змонтованого і вивіреного обладнання збирають опалубку. Потім по всій площі простору між фундаментом і обладнанням розміщують арматурні стержні з кроком 200-400 мм. Далі на одній зі сторін фундаменту монтують приймальний лоток - накопичувач з опорою на фундамент з вхідними в його склад глибинними вібраторами. На протилежному боці від лотка з'єднують торці стержнів з віброобоймою.

З віброобоймою міцно з'єднують додатковий вібратор, який через неї повідомляє стержнів поздовжні коливання в площині паралельної горизонтальній поверхні фундаменту. Потім починають подачу бетонної суміші в лоток-накопичувач з одночасним включенням глибинних вібраторів в лотку, з початкового моменту просування бетонної суміші в просторі між поверхнею фундаменту і станиною обладнання включають додатковий вібратор, розташований на віброобойме. Подачу припиняють при появі бетонної суміші на протилежній від лотка стороні технологічного зазору, при цьому відмітка поверхні бетонної суміші повинна бути вище опорної частини обладнання на товщину станини обладнання. Потім відключають вібратор, знімають обойму, демонтують лоток - накопичувач з зануреними вібраторами, стержні залишають в тілі бетону підливи.

Даний спосіб має наступні переваги перед описаними вище:

- можливість уніфікації порядку дій виконавців для досягнення якісного виконання підливи під устаткування;
- відсутність розшарування укладається бетонної суміші;
- забезпечення високої якості поверхні бетонного каменю, після демонтажу опалубки (відсутність на поверхні бетону раковин, пор, і ін.);
- підвищення продуктивності робіт за рахунок зменшення часу заповнення технологічного зазору бетонної суміші внаслідок вібраційної обробки всього обсягу бетонної суміші в технологічному зазорі на всьому шляху її руху в зазорі;
- рівномірний розподіл щільності бетонної суміші по всій площі підливи.

Недоліками зазначеного способу є обмежені технологічні можливості, тобто низька швидкість заповнення бетонної суміші в зазорі між днищем обладнання і фундаментом, в порівнянні з примусовою подачею бетонної суміші, необхідність виготовлення нестандартного обладнання, таких як вібралоток і віброобойма, часто неможливість подачі бетонної суміші з декількох сторін в зв'язку з небезпекою утворення повітряних порожнин, застосування малорухомих сумішей, що вимагають застосування додаткового вібраційного впливу, обмеження порожнини по висоті порожнини, неможливість застосування способу при обмеженнях впливів вібрації на змонтоване обладнання.

На даному етапі розвитку машинобудівної, хімічної, енергетичної та інших галузей промисловості відбувається безперервне збільшення одиничної потужності агрегатів, що призводить до необхідності монтажу укрупнених вузлів, що мають значну площу опорних площин. Крім цього, часто такі апарати мають не площинну поверхню, різні технологічні включення (трубопроводи систем охолодження, розігрівання, систем моніторингу і т.п.). Це призводить до того, що величини зазору між фундаментами і підставою обладнання перевищують нормативні ([34] 50-80мм п. 6.18). Існуючі способи бетонування порожнин не здатні забезпечити якісне заповнення бетонною сумішшю таких порожнин.

Для вирішення цих завдань встановлені наступні шляхи її вирішення:

бетонування порожнин методом нагнітання в комплексі з раціональними технологічними параметрами;

- в якості бетонної суміші застосовувати самоущільненні;
- зменшення трудомісткості робіт за рахунок застосування типової технологічної оснастки і обладнання.

1.1.1 Способи подачі бетонної суміші в конструкцію

Надалі для розробки нової технології бетонування порожнин під днищами

промислових апаратів були розглянуті способи подачі бетонної суміші в конструкцію і проведено їх порівняльний аналіз.

Залежно від виду конструкції, параметрів бетонної суміші і обсягу робіт, технічних можливостей застосовують такі технології подачі бетонної суміші в опалубку бетонируемой конструкції:

1. подача суміші автотранспортом безпосередньо в конструкцію з рівня стоянки або зі спеціальних бетоновозних мостів або естакад.

переваги:

- простота (немає проміжного перевантаження, не потрібно кранів);
- бетонна суміш будь-якої рухливості з заповнювачем будь-якої крупності [18].

недоліки:

- обмежена область застосування, можуть бути застосовані для споруджуваних нижче позначки лотка автобетоновози (підлоги промислових будівель, дороги, майданчики та ін.);

- великі витрати при використанні естакад.

2. подача бетонолітної цебром за допомогою вантажопідйомного обладнання.

переваги:

- суміш будь-яких параметрів;
- можливість досить точного дозування подачі суміші;
- велика відстань подачі: стріловидними кранами до 30 м, баштовими кранами до 60 м [14].

недоліки:

- додаткове навантаження і додатковий час для укладання суміші;
- наявність "мертвих" зон в важкодоступних конструкціях.

На об'єктах промислових і цивільних споруд в даний час є одним з основних способів подачі бетонної суміші на робоче місце.

3. подача стрічковими конвеєрами.

Використовуються стаціонарні або мобільні системи на базі автомобіля

або трактора, забезпечені робочими стрілами довжиною 10 - 20 м, по яких рухається транспортерна стрічка з бетонною сумішшю. переваги:

- не потрібно кранове обладнання;
- висока продуктивність (безперервна подача).

недоліки:

- обмеження по рухливості (до П2);
- кут підйому транспортерної стріли не більше 15 °;
- ефективна лише при великому обсязі робіт. Застосовується при

бетонуванні конструкцій нульового циклу: фундаментів, стін підвалу, підлог, перекриттів і т.п., а також надземної частини не вище 4-6 м.

4. Подача бетонної суміші бетононасосами.

Використовуються стаціонарні або мобільні комплекси на базі автомобіля. Бетонна суміш подається по сталевих трубах діаметром 100-200 мм з гнучким наконечником безпосередньо в конструкцію.

В [38] укладання бетонної суміші за допомогою бетононасосів рекомендують проводити при інтенсивності бетонування конструкцій не менше 5 м³ / год, а також в умовах обмеженого простору і в місцях, недоступних іншими засобами механізації.

переваги:

- висока продуктивність (безперервність), не потрібно кранів, відсутність "мертвих зон" (подача практично в будь-яку точку);

- подача бетонної суміші по трубах під тиском покращує її однорідність і легкоукладальність. При цьому частково зменшується обсяг пустот і поліпшується обволікання частинок заповнювача цементної плівкою, що призводить до деякого підвищення міцності бетону (на 10-20%) [28];

- застосування бетоноводов малого діаметра (100 - 125 мм) і складаються розподільних стріл дозволяє повністю механізувати найбільш трудомісткі процеси по подачі та розподілу бетонної суміші і знизити трудовитрати до мінімуму (в 3 - 4 рази в порівнянні з крана укладанням) [22].

недоліки:

- обмеження за параметрами бетонної суміші: ОК не менше 8 см; крупність щебеню не більше 40 мм;
- значні витрати на промивку трубопроводів.

З розглянутих способів видно, що найбільш прийнятним при бетонуванні важкодоступних місць, до яких можна віднести порожнину під промисловим апаратом, є подача бетонної суміші бетононасосної технікою.

1.2 Порівняльний аналіз бетононасосної техніки

Детальніше розглянемо типи бетононасосів. Бетононасоси ділять за такими критеріями [5]:

1. По режиму роботи: з безперервною і періодичною подачею будівельної суміші (шлангові і поршневі відповідно);
2. За типом приводу: гідравлічні і механічні;
3. По виконання: стаціонарні та автомобільні;
4. За кількістю циліндрів: одно- і двоциліндрові;
5. По виду двигуна: дизельні та електричні;
6. По виду робочої рідини, яка призводить поршні в рух: масло і водогідравліческіе;
7. За типом подачі бетону: вакуумні і поршневі.

Для вибору бетононасоса по режиму роботи, проведемо порівняльний аналіз поршневого і шлангового роторного бетононасосів.

поршневі бетононасоси

Поршнева бетононасосна техніка є найпоширенішим типом бетононасоса в Україні, вона забезпечує подачу суміші на висоту до 250 метрів. Максимальна продуктивність техніки даного типу - 200 куб. м / год [35].

Поршневий бетононасос працює за наступним принципом:

- бетонна суміш подається в приймальний бункер. Для збереження її

однорідності та запобігання розшарування, суміш постійно переміщується;

- потім за допомогою поршнів, що здійснюють зворотньо-поступальні рухи, суміш подається в бетоновод;

- завдяки особливостям конструкції бетононасоса рух клапанів розподільного механізму і поршнів синхронізуються.

Слід розуміти, що поршневий бетононасос в процесі експлуатації піддається інтенсивному зносу. Це пов'язано з тим, що бетонна суміш може потрапляти між труться механізмами. Надходження розчину в порожнину циліндра відбувається в момент, коли поршень насоса виконує всмоктувальне рух. Виштовхування суміші в трубопровід, навпаки, відбувається при виконанні нагнетательного руху. Подача суміші в бетононасоси поршневого типу здійснюється невеликими ривками [16].

Гідравлічний поршневий бетононасос характеризується більш тривалим терміном служби, техніка даного типу забезпечує практично незмінну швидкість подачі. Плавне і рівномірне надходження бетонної суміші пояснюється великим ходом поршня, який коливається від 1500 до 2500 мм [39]. Крім цього гідравлічний поршневий агрегат створює більш високий тиск, в порівнянні з роторним бетононасосом, завдяки чому висота і дальність подачі бетонної суміші істотно зростають.

Роторні бетононасоси Спочатку роторні насоси знайшли своє застосування в області медицини, хімічної та ін. Галузях промисловості завдяки своїй простоті, в зв'язку з тим, що перекачується середовище не має зіткнення з рухомими частинами насоса.

Конструкція роторних насосів дозволяє використовувати їх з дуже широким асортиментом застосувань:

- від дуже летючих до дуже в'язких рідин;
- від мастил до сухих рідин, які можуть бути причиною заклинювання рухомих частин;
- рідини з вмістом абразивних частинок;

- агресивні і корозійні рідини;
- харчові продукти.

Такі насоси мають широкий асортимент застосувань [21].

Надалі роторні насоси знайшли своє застосування і в будівельній промисловості, зокрема для перекачування бетонної суміші. Завдяки особливостям своєї конструкції, роторний бетононасос сприяє рівномірної подачі бетонних сумішей, в тому числі малорухомих. Техніка даного типу відрізняється більш низьким рівнем шуму працюючого двигуна.

Принцип дії [16]:

- переміщення бетонної суміші здійснюється за допомогою ротора, на внутрішній частині якого передбачені спеціальні толкающе-притискні ролики;
- в корпусі бетононасоса є обгумоване отвір з розташованим в ньому армованим шлангом. Діаметр шланга не перевищує 125 мм;
- у міру того як ротор обертається, насосні прогумовані ролики проштовхують бетонну суміш від бункера до трубопроводу.

У роторно-шланговому бетононасос з гідравлічним приводом два обрешиненних ролика 3 (Рис. 1,5) ротора 4 прокочуються по ділянці еластичного шланга 1, укладеним в напівкільцевий насосній камері 2, і видавлюють з нього бетонну суміш в напірний рукав 5, з'єднаний з бетоноводом 6. Під всмоктуючому рукаві 9 за рахунок пружного відновлення форми шлангом створиться розрідження, необхідне для засмоктування бетонної суміші з приймального бункера 7 з лопатевим змішувачем 8, безперервно що перемішує суміш. Сучасні роторно-шлангові бетононасоси мають продуктивність 3 ... 60 м³ / год і забезпечують подачу бетонної суміші до 300 м по горизонталі і до 70 м по вертикалі.

Якщо в роторному бетононасос виникає пробка, вона віддаляється за допомогою запуску двигуна в реверсному режимі. Витратні матеріали замінюються досить просто. Найбільш важливий недолік бетононасосів даного типу - недовгий термін служби армованого шланга. В процесі експлуатації тверді

будівельні матеріали швидко і легко його ушкоджують. У той же час роторний бетононасос відрізняється низькою вартістю ремонту і технічного обслуговування.

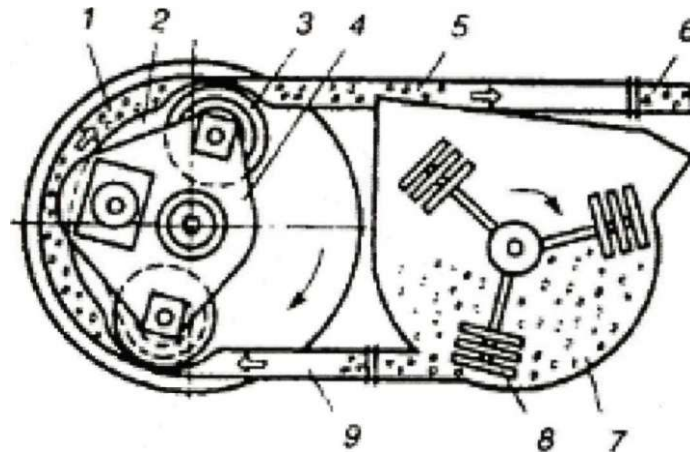


Рисунок 1.5 - Роторно-шланговий бетононасос: 1-еластичний шланг; 2 - насосна камера; 3 - ролик; 4 - ротор; 5 - напірний рукав; 6 - бетоновод; 7 - приймальний бункер; 8 - лопатевої змішувач; 9-всмоктуючий рукав

Ще однією перевагою роторних насосів є плавне регулювання швидкості подачі суміші шляхом регулювання обертів двигуна, тим самим досягається і значний діапазон регулювання продуктивності бетононасоса, зберігаючи при цьому плавність подачі суміші. Крім цього, роторні бетононасоси мають невеликі габаритні розміри, що дозволяють їх застосовувати в обмежених умовах (наприклад у виробничому цеху).

Беручи до уваги специфіку роботи та технічні характеристики вищеписаних моделей роторних і поршневих бетононасосів, доводиться констатувати, що в Україні найбільш популярними є гідравлічні поршневі агрегати. Незважаючи на те, що ремонт роторного бетононасоса обходиться його власникові порівняно недорого, гідравлічний поршневий бетононасос є більш зносостійким, надійним і набагато більш продуктивним.

Однак при заповненні замкнутих обсягів необхідно забезпечити рівномірність швидкості подачі бетонної суміші на протязі всього циклу бетонування, таким вимогою відповідають насоси з безперервною подачею -

шлангові роторні бетононасоси. Хоча випуск таких бетононасосів обмежений, в основному такі бетононасоси поширені в Японії і беспоршнева система встановлюється на шасі на базі автомобілів японського виробництва, в Європейській частині України вони є в обмеженій кількості.

В Україні використовуються виключно імпортна бетононасосна техніка різних виробників. На сьогоднішній день це близько п'ятнадцяти компаній. Якщо ще три роки тому це були переважно німецькі та італійські фірми, то в останні рік-два відбувається завоювання українського ринку бетононасосів азіатськими виробниками. За минулий рік їх частка в імпорті бетононасосів в Україні склала 65%. Компанії лідери - південнокорейський виробник «КСПHeavyIndustriesCo. Ltd »; колишня італійська, а тепер китайська компанія «Cifa», китайська «Zoomlion» і компанія «Putzmeister» контрольний пакет якої належить китайському виробникові спеціальної техніки «Sany».

Всі перераховані виробники застосовують поршневу систему нагнітання. Характеристики бетононасосів цих виробників наведені в Таблиці 1.2. Дані взяті з офіційних каталогів фірм виробників.

Перераховані виробники не єдині підприємства, які здійснюють поставки цього виду техніки в Україні. Варто відзначити також таких відомих виробників як компанії: Schwing, Waitzinger, Mecbo, Elba, DongYang і інші. Характеристики бетононасосів цих фірм можна порівняти з наведеними в таблиці.

Наведена в таблицях характеристика - відносний діапазон регулювання продуктивності бетононасоса, розраховувалася як співвідношення різниці регульованих значень до максимальної продуктивності розглянутої моделі.

$$ОД = \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{P_{\max}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

Приклад розрахунку:

Автобетононасос Cifa K62HXRZ Carbotech має наступні характеристики:

- Максимальна теоретична продуктивність (P_{\max}), м³-179;
- Мінімальна теоретична можлива подача (P_{\min}), м³-105.

З характеристик продуктивності знаходимо діапазон регулювання:

Діапазон регулювання (Д), $m^3 = 179 - 105 = 74$.

Отримана характеристика не в повній мірі відображає можливість регулювання розглянутого апарату, більш «точної» характеристикою буде розглянутий діапазон до максимальної можливої продуктивності бетононасоса.

Відносний діапазон регулювати (ОД), % = $(74/179) \times 100 = 41\%$

Таблиця 1.1 – Характеристика поршневих бетононасосів

Виробник	Тип бетононасоса				ОД, %
	Автомобільний		Стационарний		
	Продуктивність $m^3/ч$	Висота подачі, м	Продуктивність, $m^3/ч$	Висота подачі, м	
	Мін/макс				
КСР	70/170	17/65	60/90	-	32
Cifa	87/179	24/61	30/87	100/220	41
Zoomlion	90/200	38/56	49/80	90/133	40
Putzmeister	90/200	20/64	4*/83	350	47

Як було згадано вище, наявність роторних бетононасосів в Україні обмежена, а кількість офіційної інформації по ним мінімально, тому дані за основними характеристиками показаних в таблиці 1.3 автором були взяті з паспортів власників бетононасосів [49].

Як видно з наведених вище таблиць відносний діапазон регулювання продуктивності бетононасоса значно вище у насосів роторного типу, що є безперечною перевагою при виробництві бетонування на особливо відповідальних конструкціях. Наявність можливості подавати суміш з мінімальною швидкістю також є суттєвою перевагою при бетонуванні порожнин під днищами промислових апаратів.

Таблиця 1.2 – Характеристика поршневих бетононасосів

Виробник	Тип бетононасоса				ОД, %
	Автомобільний		Стационарний		
	Продуктивність м ³ /ч	Висота подачі, м	Продуктивність, м ³ /ч	Висота подачі, м	
	Мін/макс				
HINO Ranger	3/35	14/21	2-20	-	91
MITSUBISHI Canter	5/30	14/21	30/87	100/220	83
DCP	90/200	38/56	49/80	90/133	91
ISUZU Vector	90/200	20/64	4*/83	350	91

1.3 Вимоги до бетонних сумішей подаються бетононасосом і обґрунтування вибору самоущільнених бетонних сумішей

Бетонні суміші, призначені для транспортування по трубопроводах, повинні мати підвищену связністю, однорідною структурою, удобоперекачіваємост'ю і забезпечувати отримання необхідних фізико-механічних характеристик бетону (міцності при стисненні, водонепроникності, морозостійкості і т.д.).

Під удобоперекачіваємостію бетонної суміші мається на увазі [28] здатність транспортування по трубопроводу на граничні відстані без розшарування і утворення заторів під впливом зовнішніх сил (тиску, створюваного при поступальному русі поршня бетононасоса).

Склад бетонної суміші повинен бути підібраний таким чином, щоб при її русі в бетоноводі постійно зберігався пристінний мастильний шар, зерна заповнювачів не стикалися між собою, а тиск передавалося по рідкій фазі. Для виконання цих вимог необхідно, щоб обсяг цементного тесту перевищував обсяг пустот суміші великих і дрібних заповнювачів не менше ніж на 40 л / м³. Така суміш, як правило, має одночасно і високу легкоукладальність.

Як крупний заповнювач для бетонної суміші рекомендується застосовувати гравій або щебінь неостроконечної форми. Максимальний розмір зерен крупного заповнювача повинен бути не більше однієї третини внутрішнього діаметра бетоновода при використанні щебеню і 0,4 - при використанні гравію. Наявність зерен плоскої або голчастої форми більше 5% по масі тягне за собою погіршення удобоперекачіваемости бетонної суміші і прискорений знос деталей бетононасоса [12].

Підбір складу бетонної суміші, яка подається по трубах повинен здійснюватися лабораторією будівництва. Для визначення оптимального складу задаються декількома співвідношенням між дрібним і великим наповнювачами, при яких виготовляється бетонна суміш з мінімальною витратою цементу і осадкою конуса.

Збільшення витрати цементу понад нормативний при приготуванні бетонної суміші з метою поліпшення її удобоперекачіваемости неприпустимо. При ретельно підібраному зерновому складі великої та дрібної заповнювачів кількість цементу в бетонній суміші, яка подається бетононасосами, не відрізняється від витрати цементу для приготування суміші такої ж рухливості, що укладається іншими механізмами.

Бетонна суміш, що має межзернову пустотність заповнювач більшу, ніж обсяг цементного тесту, перекачуванню не піддається.

При визначенні витрати цементу слід виходити з умови необхідності забезпечення необхідного класу бетону і в'язко-пластичних властивостей бетонної суміші. Останнє досягається оптимальним вмістом в бетонній суміші цементу і пилоподібних частинок піску розміром до 0,14 мм. Їх загальна маса повинна бути 350 - 410 кг в 1 м³смесі при використанні як крупний заповнювач гравію і 380 - 430 кг - при використанні щебеню. Витрата цементу повинен бути не менше 300 кг / м³бетонной суміші. Збільшення вмісту цементу і пилоподібних частинок більше 600 кг / м³ різко підвищує в'язкість суміші і відповідно опору її руху в бетоноводі.

Пісок для бетонних сумішей, що подаються за допомогою бетононасосів, повинен містити до 3 - 7% пилоподібних частинок розміром менше 0,14 мм і 15 - 20% дрібних частинок розміром менш 0,31 мм (Рис. 1.6). При відсутності або нестачі в природному або роздробленому піску його найбільш дрібної фракції остання замінюється кам'яної або кварцовою борошном, золю-віднесенням і т.д. Однак підвищення вмісту тонкомолотих добавок понад 50% від маси цементу не рекомендується, так як в цьому випадку бетонна суміш за рахунок її отощання погано утримує воду і може легко розшаруватися.

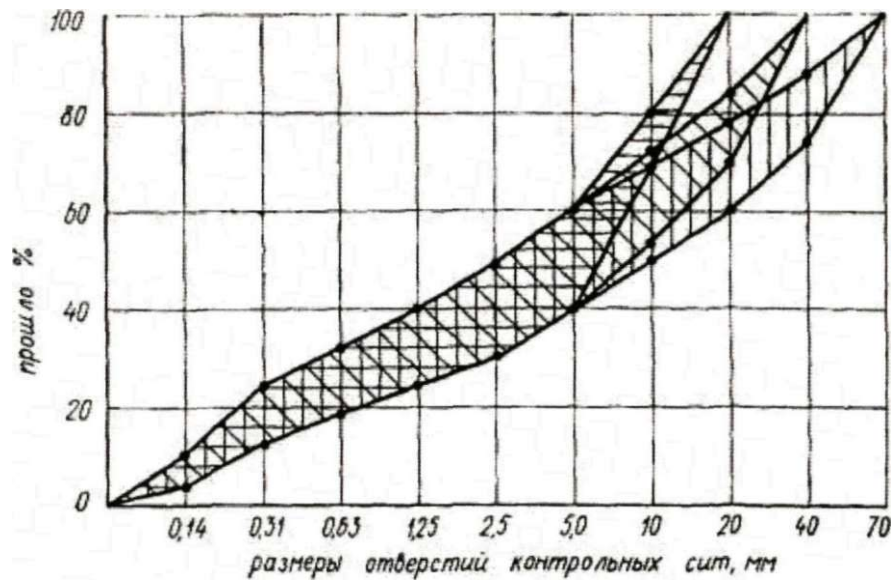


Рисунок 1.6 - Графік рекомендованого гранулометричного складу заповнювачів бетонних сумішей, що перекачуються по трубопроводу

Забезпечення удобоперекачіваемости бетонної суміші в випадках, коли можлива комбінація підбору її складових не приводить до необхідних результатів, може бути досягнуто за рахунок застосування вискоефективних пластифікуючих добавок.

При дозуванні воздухововлекающих і мікрогазовиделяющих речовин слід враховувати, що велика кількість повітряних бульбашок в бетонній суміші може привести до негативних наслідків при її перекачуванні. Причина полягає в тому, що загальна кількість повітряних пір в бетонній суміші діє як амортизує

повітряна подушка, яка стискається під впливом тиску, що виникає в трубопроводі.

При приготуванні бетонної суміші необхідно забезпечити точність дозування матеріалів відповідно до заданого складом бетону, сталість її рухливості і гранулометричного складу наповнювачів. Тривалість перемішування повинна бути достатньою для отримання однорідної структури бетонної суміші.

Для перекачування найбільш прийнятними є бетонні суміші, що володіють самоуцільненними властивостями. При цьому вимоги до таких сумішей більш «жорсткі» порівняно з вимогами до сумішей під перекачку бетононасосами. З огляду на специфіку певних апаратів, в яких неприпустимі негативні впливи вібрації, застосування самоуцільнених бетонних сумішей (СУБС) є найбільш актуальним. Наступний розділ роботи буде присвячено опису вимог, а також систематизації методик визначення властивостей СУБС.

1.3.1 Вимоги до СУБС

Самоуцільнюючий бетон - це бетон, який без впливу на нього додаткової зовнішньої ущільнюючої енергії самостійно під впливом власної маси тече, звільняється від міститься в ньому повітря і повністю заповнює простір між арматурними стрижнями і опалубкою [30].

Нормативно самоуцільнений бетон був закріплений «Німецьким комітетом по залізобетону» в 2003 році з випуском регламентує нормативного документа «DAfStb»). У цьому документі викладені терміни стосуються самоуцільненого бетону (СУБ) і зв'язку з іншими європейськими нормативними документами, а також методи випробувань СУБ. Тим самим СУБ офіційно дозволений до застосування в Європейських країнах, без будь-яких додаткових погоджень і допусків. У 2008 р був прийнятий Європейський стандарт еІ 206-9, який встановив вимоги до реологічeskим властивостями

СУБС (на додаток до тих, які визначав основний стандарт на бетони ЄК 206-1 «Бетон. Технічні вимоги, виробництво і контроль якості» в редакції 2000 р) [41]. Європейський стандарт EN 206: 2011 [42] визначає СУБ як «здатні в пластичному стані текти і ущільнюватися під дією власної ваги, заповнювати опалубку зі встановленою арматурою, канали, бічні порожнини і т. д., зберігаючи при цьому гомогенність суміші.

У вітчизняних стандартах Самоущільнюючий суміш побічно закріплена в ГОСТ 7473-2010 «Суміші бетонні. Технічні умови »де вказуються випробування бетонних сумішей на розплив конуса (P1-P6) [34], при цьому описуючи вимоги і методики національний стандарт посилається на « Європейський-EN 12350-5 2000 Випробування бетонної суміші - Частина 5: Випробування на розплив » .

Склад СУБ

Склад сировинних матеріалів бетонної суміші для приготування СУБ здійснюється, як правило, за методом, розробленим Окамура [14; 16]. Основою концепції даної методики є підвищення частки дрібних пилоподібних частинок, а розробляються рецептури базуються на наступних граничних умовах:

1. насипний об'єм заповнювач великої фракції повинен бути не більше 50% обсягу бетону;
2. обсяг дрібний заповнювач у розчинній частині повинен складати близько 40%.

Стандартний склад СУБ наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.3 – Базовий склад СУБ

Компонент	Кількість, кг/м ³
Цемент	380
Зольний пил або мелений вапняк	170
Вода	170-180
Пісок (фракція 0-2)	650
Дрібний щебінь (2-16)	950
Пластифікатор, % Мц	1-2

У своїй більшості властивості СУБА багато в чому збігаються з властивостями звичайного бетону. СУБ може бути розроблений в якості звичайного або високоміцного бетону [13; 17].

Переваги СУБа в порівнянні з традиційними видами бетону:

- відсутність дефектів в бетоні, можливих при ущільненні бетонної суміші;
- можливість застосування менш масивної конструкції опалубки (через відсутність процесу вібрування бетону на опалубку не впливають додаткові динамічні і статичні навантаження) різної форми і структури;
- спрощення робіт з бетонування (відсутність робіт по ущільненню бетонної суміші);
- щільне зчеплення арматури з бетоном і можливість збільшення відсотка армування за рахунок проникнення бетону у важкодоступні місця;
- можливість подачі бетону безпосередньо через опалубку, наприклад, через отвір в нижній її частині.

Аналіз оцінки економічності СУБ на основі європейського застосування цього виду бетону показав, що завдяки тому, що відпадає необхідність в ущільненні бетонної суміші, економія коштів при бетонуванні може становити від 3 до 6 Євро за м³ [15]. Крім цього, в окремих конструкціях (колони, опори тощо.) Відбуваються часті перерви подачі бетонної суміші, пов'язані з її ущільненням, а при використанні СУБ такі перерви відсутні.

Проведений аналіз властивостей СУБ показав, що такий бетон найбільш доцільно застосовувати:

1. при бетонуванні на великій висоті або на воді, коли процес ущільнення бетонної суміші недоцільний і небезпечний для робітників;
2. при бетонуванні густоармованих і складних конструкцій, де звичайна бетонна суміш не може проникнути в місця, де ущільнення її неможливо, що веде згодом до передчасної корозії арматури;

3. при бетонуванні конструкцій складної геометричної форми, а також конструкцій, до яких пред'являються особливі вимоги щодо якості зовнішньої поверхні бетону;

4. при бетонуванні опор мостів, гребель, тунелів та інших важкодоступних споруд, де безперервно необхідно подавати велику кількість бетонної суміші, а робочий процес утруднений і небезпечний.

Проектування складів СУБ орієнтоване зазвичай на забезпечення його реологічних характеристик в пластичній стадії. При цьому показники міцності на стиск виконуються автоматично завдяки технологічному обмеженню величини водо-в'язучого відносини (як правило, не вище 0,5–0,55) і досить високому витраті цементу на одиницю об'єму бетону. Американський стандарт AC1 237R регламентує витрата цементу приймати не нижче 386 кг / м³, а рекомендації Європейської організації по готовим бетонним сумішам (ERMCO) - не нижче 380 кг / м³.

Нові заводи з виробництва збірного залізобетону в США в основному орієнтовані на застосування технологій СУБ. В середньому по європейських країнах частка застосування СУБ займає 5-8% загального обсягу застосовуваного бетону. Є окремі приклади застосування СУБ і в Україні [40; 10].

У мостобудуванні СУБ у вигляді бетонної суміші класу В60 з ОК близько 25-27 см був використаний у Владивостоці при бетонуванні фундаментної частини опор вантового моста на острові Дніпровський, а також при спорудженні опорних частин пілонів моста АкашіКайко в Японії (введений в експлуатацію в 1995 р) і анкерних блоків, в яких закріплені ванти моста, що підтримують пролітна будова (центральный проліт мосту -1953 м, що є рекордом в світовій практиці мостобудування) [24]. Видатним прикладом успішного застосування СУБ є також будівництво хмарочоса «Бурже Дубай» в Дубаї (зданий в експлуатацію в декабрі 2009 р). Повна висота хмарочоса - 828 метрів [25].

Методи випробувань СУБС із застосуванням лабораторного обладнання

При розробці оптимального складу СУБ велику роль відіграють реологічні дослідження. Методика і послідовність досліджень розроблені по японському зразком, включають лабораторні дослідження вихідних матеріалів і мають наступні етапи [19; 20]:

1. випробування цементного тіста;
2. випробування розчину;
3. випробування бетонної суміші.

Для випробування СУБС використовуються різні методи, які контролюють здатність бетонної суміші розтікатися, вирівнюватися і долати опір перешкод. Для лабораторних досліджень СУБС використовується як стандартне обладнання, так і спеціально розроблене.

Проведений аналіз властивостей і вимог до СУБС показав, що для розроблюваної технології з використанням бетононасосної техніки, оптимально застосування СУБС, що дозволяє бетонувати порожнини в конструкціях, де вібраційні навантаження обмежені, при досягненні максимального зчеплення свежеуложеної бетонної суміші з днищем обладнання.

1.4 Огляд конструктивних типів порожнин і їх класифікація

Для остаточного визначення в напрямку вдосконалення технології заповнення порожнин бетонної сумішшю необхідно чітко розуміння специфіки вимог, що пред'являються до різних типів порожнин, актуальних в даний час. Для вирішення цього завдання автором був проведений аналіз можливих конструктивних рішень порожнин, на підставі якого розроблена класифікація [42]. У процесі класифікації порожнин враховувався той факт, що порожнини можуть утворюватися не тільки при монтажі обладнання між підставою і станиною промислового обладнання, а й бути конструктивними елементами будівель і споруд (наприклад при оштукатурюванні із застосуванням знімною

опалубки [43]) які також підлягають заповненню будівельними сумішами, що значно збільшує різноманітність можливих видів порожнин. Якщо розглядати тільки порожнини утворюються на стику фундамент - обладнання, то вони носять простий характер. Згідно з діючими нормативними документами [44] по монтажу технологічного устаткування порожнини утворюються чотирма способами:

- монтаж обладнання з використанням регулювальних гвинтів;
- монтаж обладнання з використанням металевих підкладок;
- монтаж обладнання з використанням інвентарних домкратів;
- монтаж обладнання з використанням гайок фундаментних болтів.

Поряд з цими способами, врахована конструкція порожнин між підставою і металевої опорною плитою служить підставою монтованих апаратів і установок, що отримала застосування в ряді галузей промисловості. Розроблена класифікація представлена в п'ятому розділі у вигляді таблиці. По кожному типу порожнини дано можливі варіанти способів їх бетонування і наведені характерні особливості даного конструктивного типу порожнини, які необхідно враховувати при розробці технології їх заповнення.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНУВАННЯ ПОРОЖНИН

2.1 Теоретичні основи для удосконалення методу бетонування порожнин

Для розробки нової технології бетонування порожнин відповідає сучасним вимогам, необхідно визначити напрямок, ґрунтуючись на яке буде зроблений вибір на користь запропонованого методу. Для цього була розроблена класифікація існуючих способів бетонування порожнин і теоретично можливих, з яких в подальшому буде обраний новий метод заповнення порожнини. Основною ознакою поділу способів бетонування є застосування примусового ущільнення бетонної суміші або ж відсутності такого. Крім цього, слід розділяти способи подачі бетонної суміші: під власною вагою (гравітаційний) і з застосуванням примусового тиску (нагнітанням). Стосовно до бетонування різних порожнин, чільним фактором підрозділи способів є розташування органу подає бетонну суміш (лоток накопичувач, бетоновод і ін.) Щодо самої порожнини (з периферії, верхній площині).

Класифікація способів бетонування порожнин

I бетонування з периферії порожнини:

1. Вібраційна технологія:

1.1. традиційна вібраційна технологія із застосуванням жорстких і малорухомих бетонних сумішей, що подаються з лотка накопичувача;

1.2. із застосуванням додаткового спонукає органу у вигляді вібро про обойми під днищем промислового апарату;

1.3. подача бетонної суміші за допомогою бетоноводу спільно з вібропобуваючим органом.

2. безвібраційних технологія із застосуванням самоущільнюваних бетонних сумішей:

2.1 подача суміші з лотка накопичувача в опалубку з одного боку периметра утворилася порожнини до появи бетонної суміші з протилежного;

2.2 подача суміші за допомогою бетоноводу в опалубку з одного боку до появи бетонної суміші з протилежного;

2.3 подача суміші за допомогою бетоноводов з двох (трьох і т.д.) сторін, в залежності від площі підстави;

2.4 подлівка самоушільнених сумішей під обладнання з протягуванням тонких стрижневих елементів (зворотно - поступальні рухи).

II бетонування порожнини з верхньої площині:

3 подача бетонної суміші через отвір (отвори) в підставі:

3.1 подача здійснюється під механічним тиском (за допомогою бетононасосів, пневморастворонагнетателів, і ін. Насосів);

3.2 подача здійснюється через воронку (віброворонку), «нагнітання» здійснюється за рахунок контрольованого гідростатичного тиску стовпа бетонної суміші.

III Інші:

4 Метод механічного зачеканювання;

5 ін'єкція;

6 Метод занурення.

Варіанти застосування способів бетонування для різних конструктивних типів порожнин наведені в параграфі 5.3.

2.1.1 Вплив конструктивних особливостей порожнини

При розробці технології бетонування порожнин необхідно враховувати наступні характерні особливості порожнин підлягають заповненню бетонної смесио [28]:

- Співвідношення висоти порожнини до її площі. Очевидно, що при великих площах і малій висоті порожнини виникає труднощі щодо її заповнення

в зв'язку зі збільшенням опору руху бетонної суміші. Крім того можливо защемлення повітря при русі зустрічних «потоків» бетонної

суміші, до такого результату може привести подача суміші з периферії з декількох сторін.

- Наявність включень в порожнині. Найчастіше під днищами апаратів прокладається трубопроводи (Рис. 2.1), наприклад труби системи охолодження та ін., Істотно ускладнюють процес заповнення порожнини бетонної сумішшю. У таких випадках доцільно перед прийняттям технології заповнення робити моделювання, щоб простежити процес заповнення простору бетонної сумішшю і підібрати оптимальні параметри бетонування: рухливість суміші; швидкість подачі бетонної суміші; спосіб подачі бетонної суміші і ін. Моделювання дозволить так само уточнити оптимальне розташування проходок (по висоті порожнини) для забезпечення надійного заповнення порожнини бетонної сумішшю.

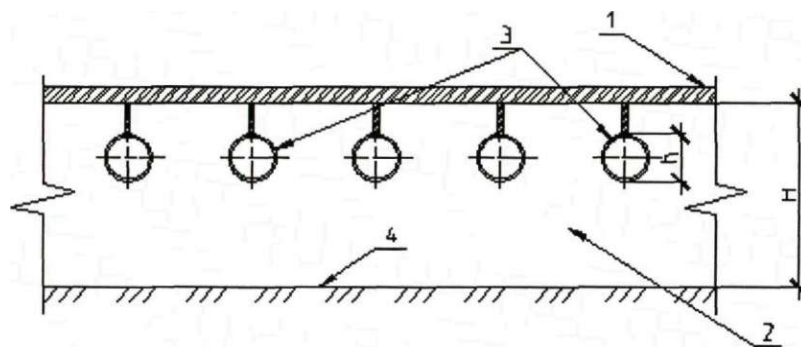


Рисунок 2.1 - Схема фрагмента порожнини з трубчастими включеннями: 1- Днище апарату; 2-Порожнина; 3-Трубчасті включення; 4-Підстава

- Форма поверхні днища. Застосування апаратів з увігнутою поверхнею вкрай не бажано, тому що утруднене видалення повітря з верхньої частини порожнини і освіті повітряної лінзи по центру днища. Бетонування в такому випадку можливо тільки з центру зверху, але пристрій технологічних отворів в днищі апаратах найчастіше неможливо. Опукла конусна форма поверхні днища

апарату дозволяє провести монтаж обладнання шляхом занурення в свіжоукладену бетонну суміш на вивірені опори (Рис. 2.2).

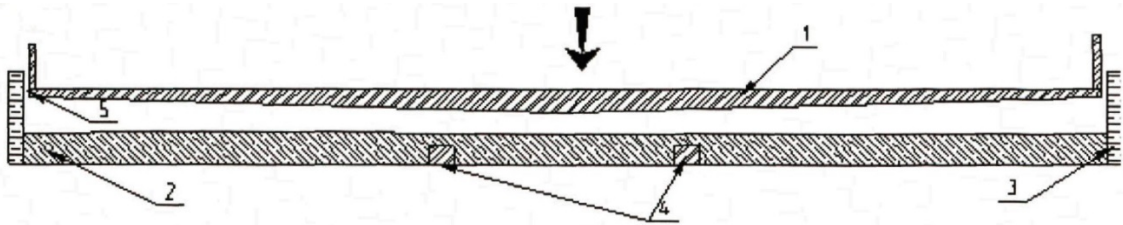


Рисунок 2.2 - Схема бетонування методом занурення: 1-днище апарату випуклої форми; 2 - свіжеуложеної рухлива бетонна суміш; 3-опалубка; 4-опори; 5-зазор по контуру

Детальніше вплив характеристик порожнини на якість її заповнення розглянуті в параграфі 2.4.

2.1.2 Альтернативні методи бетонування порожнин і досвід їх застосування

- Доступ до порожнини можливий тільки з верхньої поверхні (закрита порожнина). При монтажі важких апаратів їх спирання часто проводиться на металеву ребристу плиту (Рис. 2.3) для сприйняття маси обладнання та його вивірки. Монтаж апарату проводиться після заповнення порожнин бетонної сумішшю між опорною плитою і опорною поверхнею фундаменту. В цьому випадку утруднений контроль при заповненні простору під плитою між ребрами.

Крім традиційних способів з безпосередньою подачею бетонної суміші після монтажу обладнання, можливі альтернативні методи бетонування порожнин [34]. У разі застосування СУБС з'являється можливість виконання монтажу із застосуванням днищ з конусним підставою. Така форма підстави дозволяє виробляти монтаж апаратів без підливи в процесі монтажу. Суть технологія полягає в тому, що опорна частина апарату встановлюється на

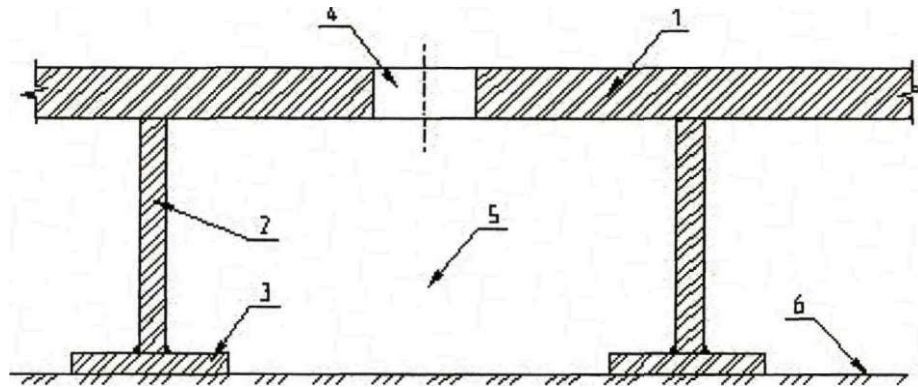


Рисунок 2.3 – Схема фрагмента закритою порожнини: 1-верхня плита; 2-Редро; 3-Полка ребра; 4 - Отвір для бетонування; 5 - Закрита порожнину; 6-Підстава

свіжоукладений бетон високої рухливості (Рис. 2.4). Днище спирається на упори, розташовані нижче рівня шару свежеуложеної суміші. Опалубка по периметру

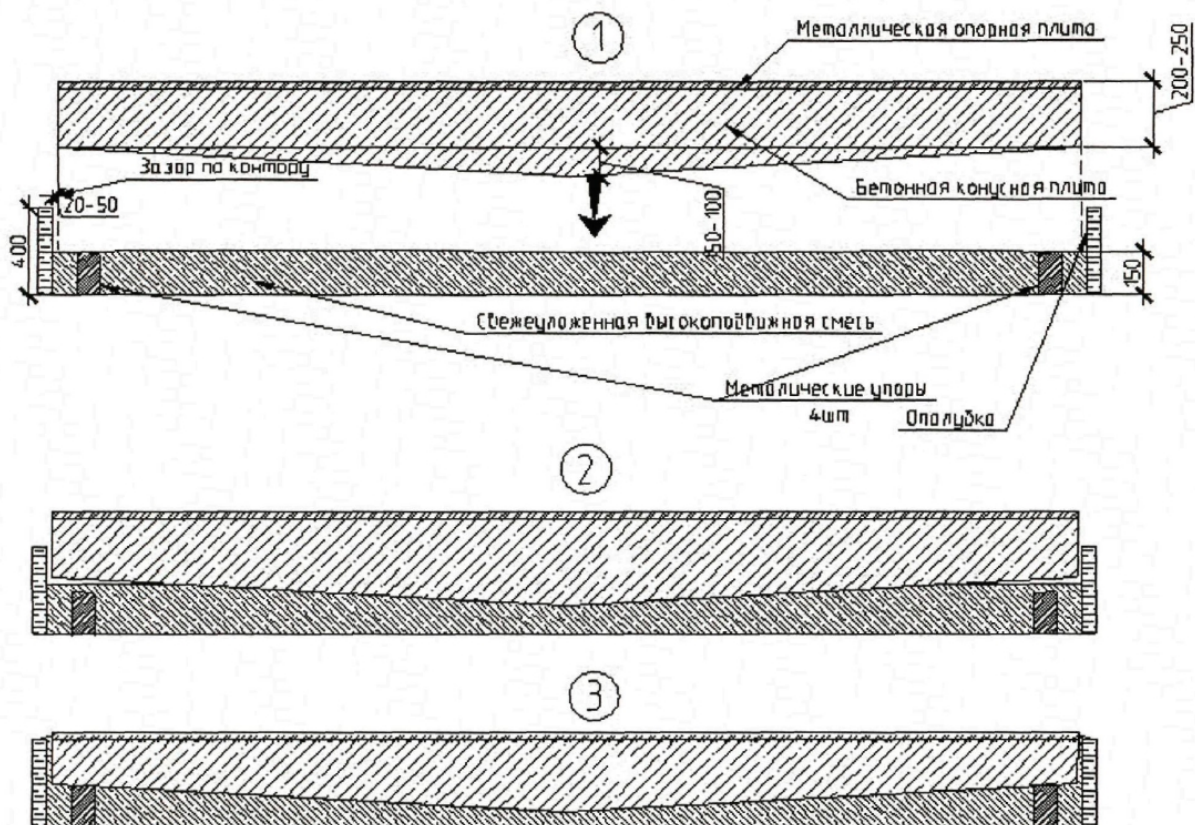


Рисунок 2.4 - Схема монтажу опорної плити методом занурення: 1-схема перед установкою опорної плити обладнання; 2-схема початку занурення опорної плити в свіжоукладену частину; 3-остаточна позиція при установці опорної плити на упори в свежеуложеної суміші

встановлюється з зазором по контуру так, щоб витіснений об'єм бетонної суміші мав можливість заповнювати цей зазор. При застосуванні самоущільнених бетонних сумішей величина зазору повинна становити не менше 20 мм (не менше величини рівної 4-м діаметрам найбільшої фракції крупного заповнювача). Важливо відзначити, що до остаточного встановлення плити, попередньо проводиться вивірка опорної плити під обладнання на упорах фундаментах без бетонної суміші.

Було проведено виробничий експеримент по монтажу (бетонування) такої конструкції. Як апарату використовувалася метало-бетонна плита днища розміром в плані 3470x3470. Висота плити складалася з трьох елементів: металеву основу 25мм, основний бетонний шар 200мм, конусна бетонна частина висотою в центрі 100мм. Конусність днища становила 6%. Висота свежеуложенного шару СУБС становила 150 мм. Опалубка розміром 3500x3500, тим самим утворюється зазор по контуру 20мм, і висотою 400мм. Обсяг витісняється суміші 200л.

Плита занурювалася в основу зі свежеуложеною важкої бетонної сумішшю високої рухливості (розплив конуса 90см) товщиною 150 мм. Як вантажопідйомного механізму застосовувався навантажувач Н32ХМС-16, Q = 32т зі зворотними вилами (Рис. 2.5). Плита виводилася в проектне положення в плані, після чого повільно опускалася до моменту зіткнення нижньої частини конуса зі свежеуложеною сумішшю. Після цього машиніст навантажувача справив контрольований скид плити. Проектне положення по висоті контролювалося за ризиками, нанесеним попередньо на опалубку.

Занурення в проектне положення здійснювалося за рахунок того, що маса метало-бетонної основи і з розташованої на ній Привантажувач перевищували архимедову силу на 30%.

Ще одним альтернативним способом бетонування порожнини може служити розробка технології, що застосовується при заповненні порожнини під

експериментальної енергетичною установкою з діаметром підстави 3,0м [35; 37].
Схема проведення експерименту показана на Рис 2.6.

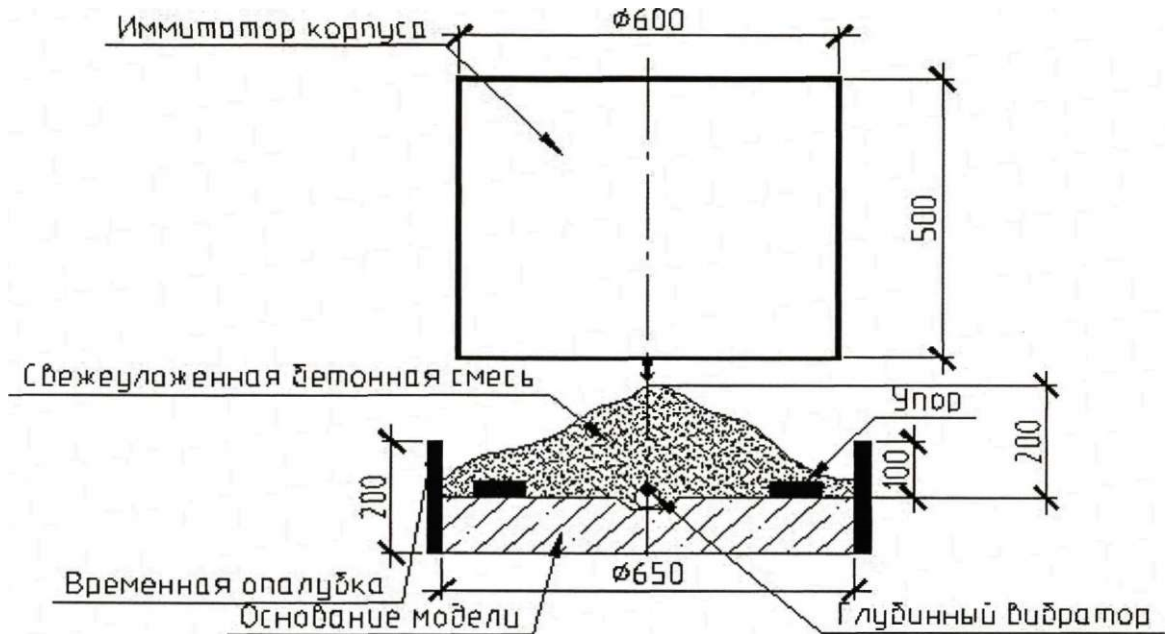


Рисунок 2.6 - Схема моделі монтажу обладнання методом занурення

Аормування в центральній частині опуклості попередньо укладеним бетоном, на бетон опускався імітатор корпусу і включався вібратор. У зв'язку з відсутністю в період проведення модельного експерименту (80-ті роки двадцятого століття) розробок по СУБС, як свіжеуложеної бетонної суміші застосовувався дрібнозернистий бетон рухливістю ПЗ. маса імітатора перевищувала архімедовим силу на 30%. При опускання на нього корпусу і включеному вібраторі, відбувалося зменшення висоти зазору та збільшення ефективного радіусу дії вібрації за рахунок використання явища відображення віброволн від верхньої і нижньої площин підстави і днища корпусу, що призводило до прискорення процесу опускання корпусу на упори. При цьому бетонна суміш з'являється по всьому периметру кільцевого зазору. Після закінчення установки корпусу на опори, вібратори вимикалися і залишалися в опорному шарі бетону.

2.2 Технологія бетонування порожнин методом нагнітання

Розглянувши існуючі способи бетонування порожнин і зробивши аналіз їх достоїнств і недоліків, з огляду на сучасні вимоги, що пред'являються до конструктивних рішень порожнин, очевидна необхідність в створенні нової безвібраційної технології бетонування порожнин з примусовою подачею бетонної суміші з урахуванням факторів виявлених в попередньому параграфі.

Завданнями, на вирішення яких спрямовано нову пропозицію, є:

- Зняття обмеження по висоті бетонування порожнини;
- Можливість виробляти бетонування під обладнанням, в якому є неприпустимою вібрація, зокрема з технологічними включеннями.
- Зменшення трудовитрат;
- Підвищення якості поверхні на стику з днищем обладнання;
- Можливість застосування стандартного механізованого обладнання;

В основі розробленої технології [35] лежить монолітний спосіб проведення робіт із застосуванням бетононасоса, що подає Самоущільнюючий бетонну суміш в технологічний зазор (Рис 2.7а, б). Сутність технології полягає в тому, що бетонування порожнини під технологічним обладнанням проводиться з центру порожнини або від протилежного боку без подальшого примусового ущільнення бетонної суміші, а подача самоущільненої бетонної суміші в порожнину здійснюється безперервно за допомогою бетоноводу, який при необхідності витягується з порожнини не раніше підйому рівня бетонної суміші в просторі між периметром опалубки і корпусу обладнання вище днища апарату.

Метод бетонування порожнини під технологічним обладнанням 1 (рис.2.7) здійснюється наступним чином. На певній відстані від корпусу обладнання, змонтованого на монтажні опори 2 і вивіреного з точки зору точності установки устаткування, збирають опалубку 3, причому верхній рівень останньої повинен бути вище позначки днища корпусу обладнання. Далі в опалубці в місцях введення 4 бетоноводов 5 влаштовуються отвори з ущільненням. Потім

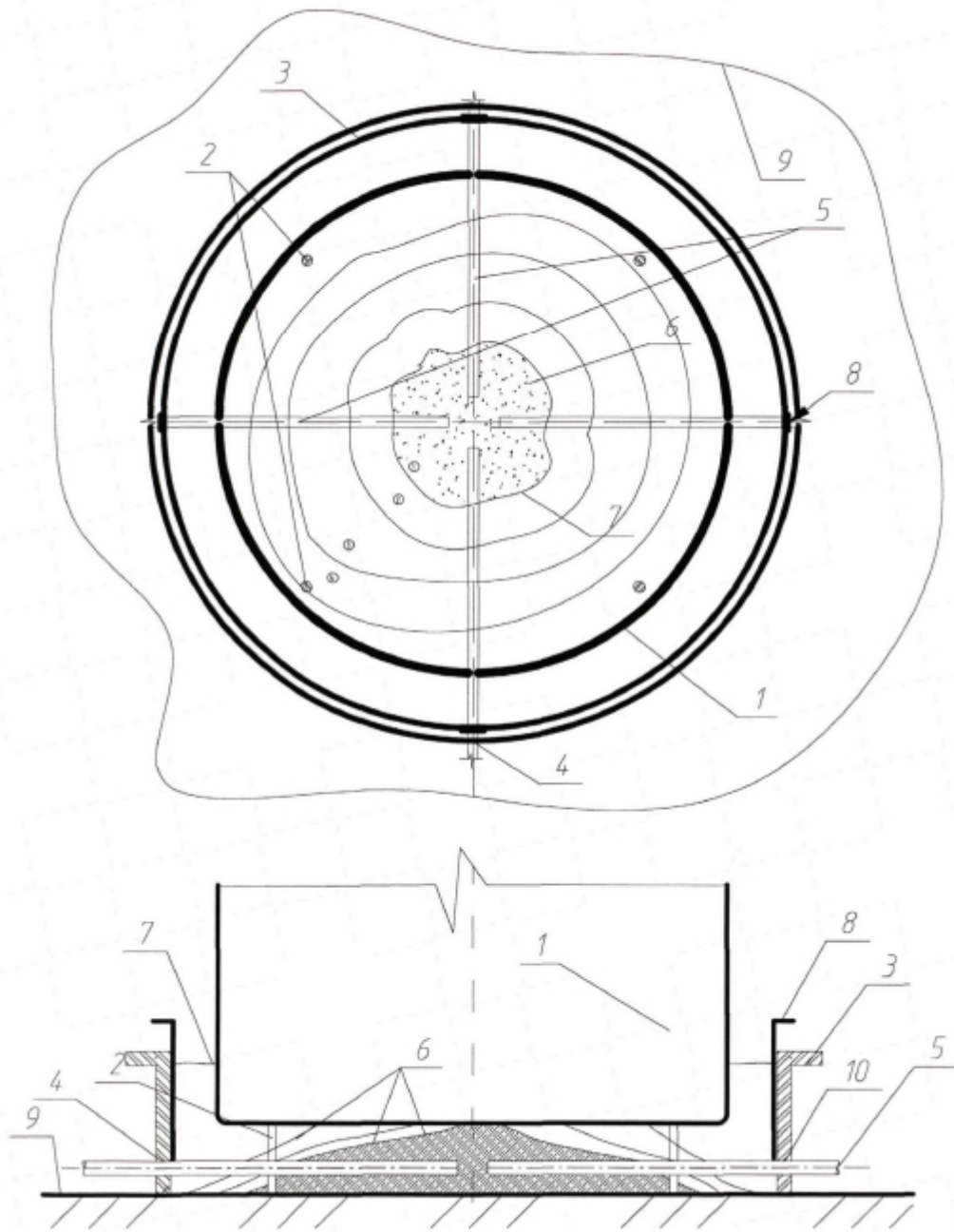


Рисунок 2.7а - Схема бетонування порожнини з центру нагнітальним методом: 1-обладнання; 2 - опори; 3 - опалубка; 4 - отвори в опалубці під бетоноводи; 5 - бетоноводи; 6 - бетонна суміш; 7 - рівень бетонування (підпору); 8 - заглушки; 9 - підстава; 10 - ущільнювач

бетоноводи вводяться в порожнину, утворену днищем обладнання і фундаментом, не доходячи до центру днища або торцевого боку 400-500мм (4-5 діаметрів бетоноводу), після чого в бетоноводи подається Самоущільнюючий

бетонна суміш 6. Суміш подається до моменту, поки по всьому периметру вище позначки корпусу днища 7 не з'явиться бетонна суміш, після чого при необхідності можна витягувати бетоноводи назовні, при цьому, не припиняючи подачу бетонної суміші. По закінченню виведення бетоноводу отвори перекриваються засувками 8. У разі, коли бетоноводи замонолічуються в обсязі порожнини, їх зрізають при демонтажі опалубки.

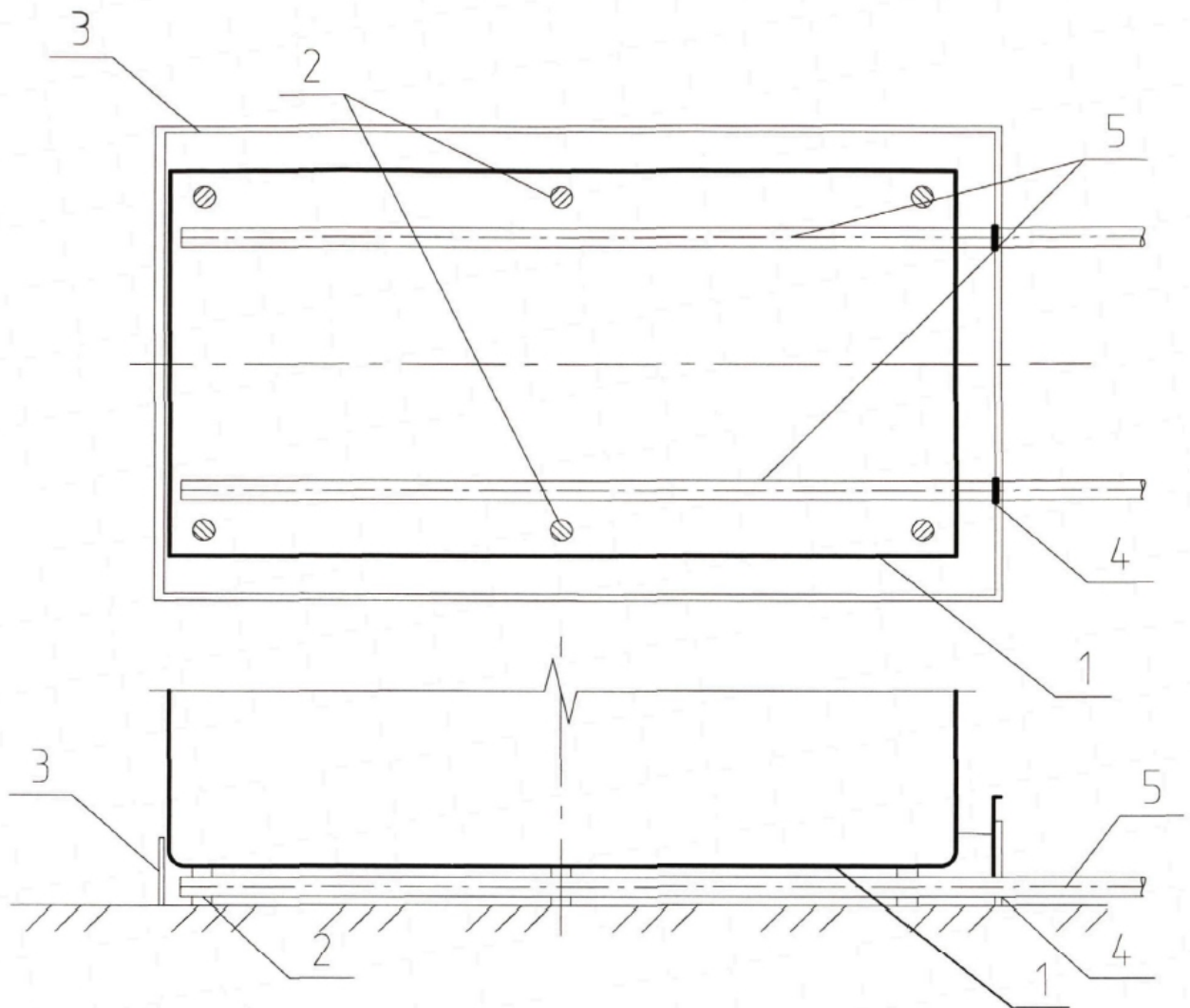


Рисунок 2.76 – Схема бетонування нагнітаючим методом від торцевої сторони

Пропонований метод має наступні переваги перед відомими рішеннями:

- можливість підливи бетонної суміші під технологічне обладнання практично будь-яких розмірів і конфігурації в плані;

- підвищення якості та продуктивності робіт за рахунок застосування бетонних сумішей високої рухливості при примусовій подачі суміші;
- можливість подачі бетонної суміші з декількох сторін;
- можливість бетонувати порожнини мають в своєму обсязі технологічні включення;
- відсутність додаткових технологічних операцій і устаткування по ущільненню бетонної суміші;
- відсутність обмежень по висоті порожнини;
- застосування стандартного устаткування.

2.3 Теоретичне обґрунтування параметрів процесу переміщення бетонних сумішей в порожнині

Колоїдні розчини і суспензії, що відрізняються за своїми властивостями від однорідних «ньютонівських» рідин, стали широко застосовуватися в кінці ХІХ століття. У цей період були проведені дослідження безлічі розчинів (желатин, крохмаль, будівельні розчини і т.д.), які показали: - перебуваючи в стані спокою, вони набувають студнеобразную структуру - гель, для порушення якої необхідно докласти певних зусиль, при цьому зусилля для перекладу загустілого розчину в рухомий стан (золь) залежить від часу і умов утворення гелю; - внутрішнє тертя, що виявляється після руйнування структури, характеризується змінною динамічною в'язкістю (коефіцієнтом внутрішнього тертя), зменшується з підвищенням напруги зсуву при збільшенні градієнта швидкості.

Експериментальні дослідження цих систем, проведені рядом вчених (Івянській, Шведов, Бінгем, букінг, і ін.) Показали, що вони їх реологічні властивості не підкоряються «ньютонівським» рідин. Бетонні суміші і будівельні розчини являють собою упруговязкие дисперсні системи, в яких дисперсними фазами є активне в'язучий і заповнювач, а дисперсним середовищем. При перевищенні цієї межі в такому тілі відбуваються незворотні деформації і

наближається до вузькому тіл. Під дією зовнішніх сил частина енергії упруговязких тел переходить з кінетичної в потенційну, а частина є незворотнім звертається в теплоту -для зміни і переміщення структурних елементів. Таким чином, бетонна суміш володіє одночасно властивостями пружного і в'язкого тіла.

Рух бетонної суміші при їх перекачуванні по бетоноводу може бути сталим і несталим. Сталі - швидкість переміщення суміші з часом не змінюється ні за спрямуванням, ні по величині. В інших випадку рух вважається несталому. При переміщенні бетонної суміші при його подачі роторним бетононасосом по армованому шлангу, а далі по бетоноводу, рух можна вважати сталим.

Детальне дослідження технології ін'єкційного формування тонкостінних виробів з цементно-піщаної суміші проводив І.М. Головачов [32], яке при деякої адаптації може бути застосовано до розглянутого випадку.

Будь-яка сила тиску, що надається на рідину, спрямована перпендикулярно поверхні судини [16]. Дотична до поверхні сила не може існувати в умовах рівноваги. У цих умовах рідина не працює на зрушення, так як зміни відбуваються тільки в формі тіла без зміни обсягу. Коли стан рівноваги порушено, рідина тече, стикаючись з твердою поверхнею. Між поверхнею твердого тіла і жодної реальної рідиною (або газом) завжди існують сили молекулярного зчеплення, що призводять до того, що безпосередньо прилягає до твердої стінки шар рідини повністю затримується, прилипаючи до поверхні. Тобто швидкість течії на стінці дорівнює нулю. У міру віддалення від стінки вглиб потоку рідини, швидкість течії збільшується і, завдяки в'язкості, виникає імпульс у напрямку до цієї стінці. Зміна імпульсу тіла за проміжок часу до величини цього проміжку часу є сила, що діє на тіло. Отже, імпульс, що переноситься в одиницю часу через одиницю поверхні і передається від рідини до стінки, є сила тертя, що діє на одиницю поверхні твердої стінки, що стикається з рідиною.

Сила тертя в основному залежить від в'язкості рідини і градієнта швидкості. Основні закони внутрішнього тертя рідин були відкриті Ньютоном і

полягають в наступному залежності - сила взаємодії між шарами рідини, що рухаються відносно один одного з відомою швидкістю, залежить від роду рідини і пропорційна градієнту швидкості руху і площі зіткнення цих шарів [22].

Закон Ньютона прийнятний тільки для гомогенних рідин. У гетерогенних рідин, до яких відноситься бетонна суміш, внутрішнє тертя виражається складними залежностями. У неоднорідних рідин втрати, в залежності від зміни швидкості їх руху, змінюються повільніше, ніж у однорідних. Гетерогенні рідини мають здатність зберігати в статичному стані дотичні напруження, а аномальні гетерогенні рідини (бетонні суміші і будівельні розчини) мають властивості твердого та в'язкого тел одночасно [9].

Найбільш прийнятною теорією для колоїдно-дисперсних систем є дифузійна, розкрита в працях [36]. Для таких систем найбільш застосовна дифузионная теорія. Вона полягає в припущенні повного розсмоктування енергії активації молекул, необхідної для їх переходу з одного положення рівноваги в інше при їх переміщенні, тобто коефіцієнт в'язкості рідин виводиться з розгляду дифузійного руху молекул [33]. Така теорія обґрунтовує переміщення колоїдних частинок з одного положення рівноваги в інше і коливального руху частинок близько положень рівноваги.

На підставі цієї теорії [43] було виведено визначення коефіцієнта дифузії (кінематичної в'язкості):

$$D = \frac{\delta^2}{6t}, [\text{M}^2/\text{c}] \quad (2.1)$$

$$\text{де } t = \delta \sqrt{\frac{2\pi m}{kT}} \cdot e$$

і динамічної в'язкості

$$\varphi = \frac{2kT}{\eta\delta^3}, [\text{Па}\cdot\text{c}] \quad (2.1)$$

які є базовими параметрами, визначальними реологічними характеристиками різних сумішей, де:

δ - довжина стрибка колоїдної частинки з одного положення рівноваги в інше, рівна діаметру частинки;

t - тривалість перебування частинки в одному з положень;

m - маса колоїдної частинки;

k - постійна Больцмана;

T - абсолютна температура;

За допомогою даних параметрів можливе визначення поведінки різних будівельних сумішей, в тому числі дрібнозернистих самоущільнених бетонних сумішей, при їх перекачуванні по трубопроводах, розрахунок параметрів бетононасосної техніки. Однак для побудови математичної моделі поширення бетонної суміші при нагнітанні її в порожнину під обладнання даних параметрів недостатньо. Крім реологічних властивостей бетонної суміші необхідно враховувати такі основні фактори-продуктивність бетононасоса, діаметр бетоноводу, а внаслідок цих параметрів-швидкість витікання бетонної суміші з бетоноводу, величину заповнюється зазору між підставою і обладнанням, сил тертя бетонної суміші по поверхні і ін.

Для вивчення процесів, що відбуваються при заповненні порожнини бетонної сумішшю, здобувачем була побудована фізична модель з урахуванням сил (в'язких, інерційних, гравітаційних і сил тертя) діючих в процесі поширення бетонної суміші в зазорі між підставою і обладнанням (рис. 2.8).

Відповідно до запропонованої моделі для здійснення подачі бетонної суміші в порожнину необхідно, щоб тиск P , створюване роторним бетононасосом, було більше, ніж тиск P_1 , яка дорівнює загальній кількості сил протидіючих поширенню бетонної суміші в порожнині, тобто

$$P > P_1,$$

де

$$P_1 = \tau_{\text{осн}} + \tau_{\text{об}} + \tau_{\text{бв}} + \tau_{\text{внутр}} + \tau_{\text{вкл}} + \gamma, \quad (2.3)$$

де $\tau_{\text{осн}}$ - сила тертя бетонної суміші по поверхні основи; $\tau_{\text{об}}$ - сила тертя бетонної суміші по поверхні устаткування; $\tau_{\text{бв}}$ - сила тертя бетонної суміші по

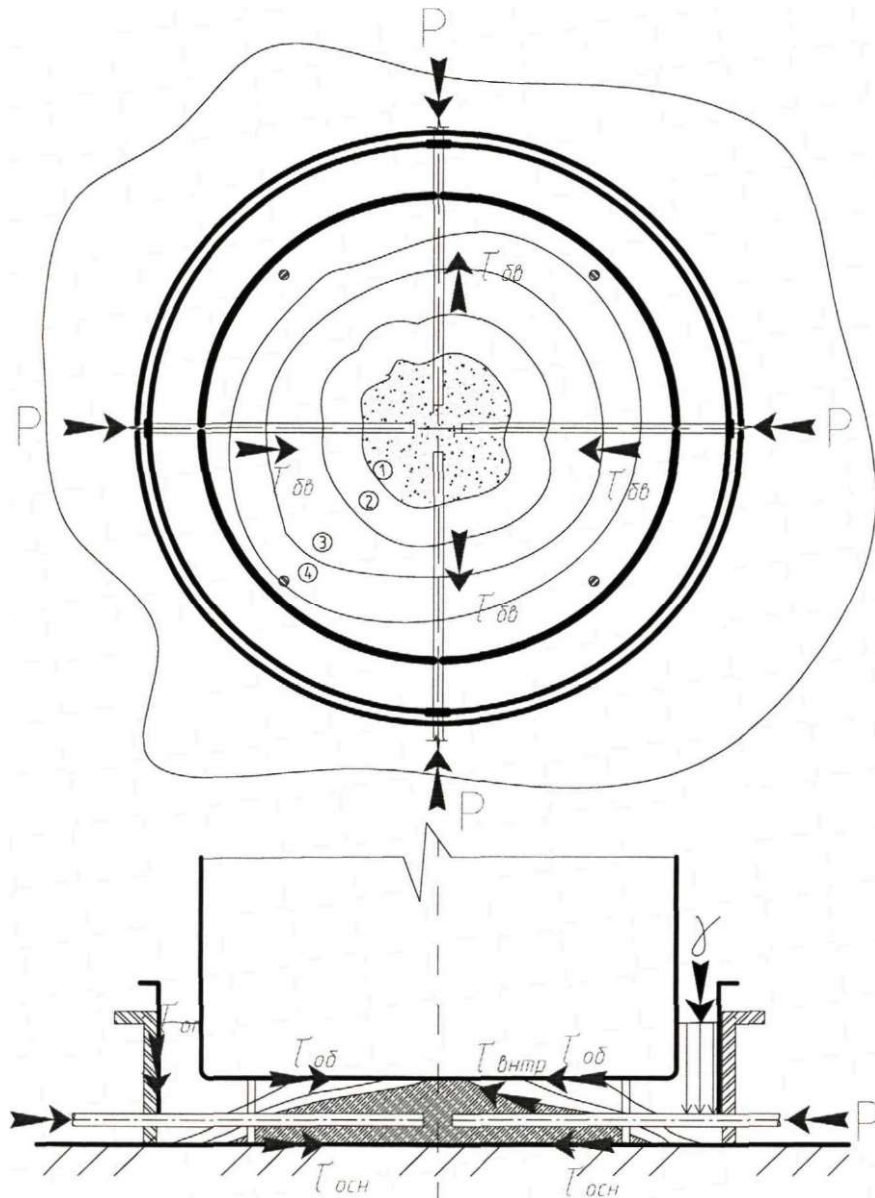


Рисунок 2.8 - Фізична модель процесу поширення бетонної суміші в порожнині

бокових поверхнях опалубки; $\tau_{\text{внутр}}$ - сила тертя бетонної суміші по поверхнях бетоноводов; $\tau_{\text{вкл.}}$ - сила внутрішнього тертя бетонної суміші; $\tau_{\text{вкл.}}$ - сила тертя по поверхні технологічних включень; γ - об'ємна вага стовпа бетонної суміші вище позначки гирла робочих бетоноводов.

Процес заповнення порожнини бетонної сумішшю запропонованим нагнітальним методом, коли гирло бетоноводу через певний час знаходиться в

товщі подається бетонної суміші, за своїми фізичними даними можна порівняти процесу укладання бетонної суміші під водою за методом вертикально переміщуваних труб (ВПТ) [11] і методом «висхідного розчину» [23; 37], що застосовуються в гідротехнічному будівництві. Бетонна суміш, що виходить з гирла робочих бетоноводов, заглиблених в плані на деяку відстань в порожнину, спочатку випливає вільно до тих пір, поки не утвориться рівень, що закриває гирло бетоноводов, або якщо бетоноводи знаходяться на невеликій відстані один від одного, поки не стикнуться потоки бетонної суміші один з одним (Рис.2.9сх.А етап 3). Далі суміш заповнює всю площу поверхні порожнини до моменту, поки не буде перевищений рівень верху бетоноводов. Підйом шару бетонної суміші, потім, відбувається суцільний масою, при цьому вона відчуває

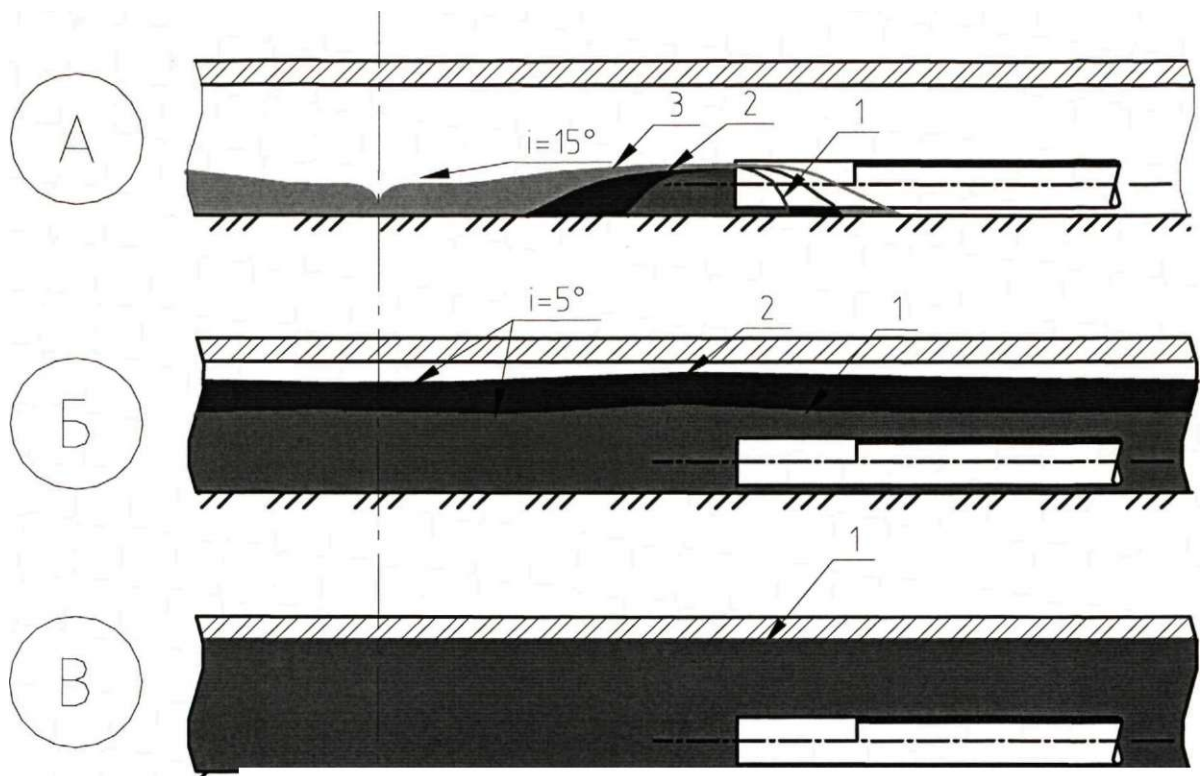


Рисунок 2.9 - Схема руху бетонної суміші в порожнині при подачі її допомогою бетоноводов з декількох сторін: А, Б, В індекси схем; 1, 2, 3 етапи просування суміші

більший опір, з урахуванням того, що необхідно долати об'ємна вага стовпа бетонної суміші вище позначки гирла робочих бетоноводов, при цьому криволінійність поверхні буде володіти максимальним радіусом кривизни (кут до горизонту) в зв'язку з високою рухливістю суміші (Рис.2.9б).

Утворений конус бетоної суміші, отримує менший опір, прагне підніматися в вертикальному напрямку. Коли маса стовпа бетонної суміші над гирлом бетоноводу перевищить критичне значення, відбувається перерозподіл тиску і суміш поширюється в горизонтальному напрямку. З огляду на те, що висота порожнини щодо діаметра бетоноводов незначна, то вплив стовпа бетонної суміші теж незначно, при цьому в кожен момент часу критична сила внутрішнього тертя вже укладеного шару бетонної суміші стає все менше сили тяжіння верхніх шарів, що спонукає суміш до руху горизонтальними потоками по площі порожнини, в результаті досягаючи горизонту при зіткненні з верхньою поверхнею порожнини (Рис.2.9сх.В). При досягненні верхньої площини порожнини гарантований ухил, потоку бетонної суміші, вирівнюється, що не утворюючи при цьому повітряних включень. Даний ефект був би неможливий при застосуванні вібраційних впливів.

Вплив включень

Наявність технологічних прокладок в порожнині значно змінює процес її заповнення. Крім додаткового впливу на суміш сил тертя по поверхні включень, відбувається зміна напрямку руху потоків. Теоретично, при сталим русі, суміш, долаючи сили тертя, повинна як би обволікати включення, після чого роздвоївся потік повинен сходитися. При цьому кут нахилу поширення суміші повинен значно зменшитися. Таким чином, включення побічно виконують функцію верхньої поверхні порожнини, внаслідок чого, після перевищення сумішшю верхнього рівня включень, кут прагне до горизонту. Однак, на кордоні роздвоївся потоку можливе утворення повітряних включень тому динамічна в'язкість потоків не завжди перекидає сили тертя на поверхні включень.

2.4 Визначення показника якості заповнення порожнини і його оцінка

Для визначення якості заповнення порожнини поряд якісними характеристиками необхідно мати і кількісний показник. Таким показником можна прийняти коефіцієнт заповнення порожнини K_{Π} , який визначається як:

$$K_{\Pi} = K_s \cdot K_v \cdot K_o, \quad (2.4)$$

де: K_s - коефіцієнт заповнення площі контакту бетонної суміші з днищем обладнання;

K_v - коефіцієнт заповнення обсягу порожнини;

K_o - коефіцієнт заповнення площі підстави порожнини;

$$K_s = K_o = \frac{S_3}{S_{\text{общ}}}, \quad (2.5)$$

де: S_3 -площа фактичного контакту плями бетонної з днищем апарату або підставою порожнини;

$S_{\text{общ}}$ - площа днища апарату або підстави порожнини.

Слід враховувати, що значення S_3 і $S_{\text{общ}}$ для заснування і днища можуть бути різні, і приймаються для кожного випадку окремо.

$$K_v = \frac{v_3}{v_{\text{общ}}}, \quad (2.6)$$

де: v_3 - обсяг фактичного заповнення порожнини бетоном;

$v_{\text{общ}}$ - обсяг порожнини.

Фактичні площа і об'єм порожнини визначаються за такими формулами:

$$S_3 = S_{\text{общ}} - S_{\text{пор}}, \quad (2.7)$$

$$V_3 = V_{\text{общ}} - V_{\text{пор}}, \quad (2.8)$$

Де: $S_{\text{пор}}$ - площа незаповнених ділянок зони контакту з поверхнею;

$V_{\text{пор}}$ - об'єм незаповнених ділянок порожнини.

Підставимо всі значення в формулу (2.4) і отримаємо:

$$K_{\Pi} = \frac{S_{\text{общ}} - S_{\text{пор}}}{S_{\text{общ}}} \cdot \frac{V_{\text{общ}} - V_{\text{пор}}}{V_{\text{общ}}} \cdot \frac{S_{\text{общ}} - S_{\text{пор}}}{S_{\text{общ}}}, \quad (2.9)$$

Перераховані вище формули дозволяють визначити якість заповнення порожнини тільки на прозорих моделях в процесі і по завершенню процесу бетонування, але по ним неможливо спрогнозувати кінцевий результат або підібрати початкові раціональні параметри розроблюваної технології які також необхідно моделювати.

Для вирішення даного завдання були виявлені фактори впливу характеристик і параметрів бетонування на якість заповнення порожнини і побудована функція залежності від цих змінних:

$$K_n = F(v_{\text{ист}}, B, V, P, \Pi, Z), \quad (2.10)$$

де $v_{\text{ист}}$ - швидкість витікання бетонної суміші, м / ч; B - залежність розташування гирла бетоноводов по площі; V - Залежність впливу наявності включень в порожнині; P - залежність від реологічних властивостей бетонної суміші; Π - Вплив величини підпору стовпа бетонної суміші; Z - Вплив величини зазору.

1. Швидкість витікання бетонної суміші

$$v_{\text{ист}} = \frac{P}{\sum F}, \quad (2.11)$$

де P - продуктивність подачі суміші бетононасосом, м³ / год;

F - сумарна площа поперечного перерізу бетоноводов, м².

Критерій якості заповнення порожнини повинен вибиратися з умов мінімальних трудовитрат і максимальної продуктивності. Однак передбачається наступна залежність: що $K_n \rightarrow \max$, коли $v_{\text{ист}} \rightarrow \min$. Звідси випливає, що чим менше продуктивність бетононасоса, тим вище K_n , виходячи з цього, слід підвищувати продуктивність при збереженні мінімальної необхідної швидкості витікання бетонної суміші шляхом збільшення сумарної площі перетину бетоноводов. Це досягається двома способами: збільшенням діаметра перетину бетоноводу або збільшенням кількості подають бетоноводов. З цього випливає, що потрібно прагнути до максимальної кількості бетоноводов подають бетонну суміш з умови технічного розумного кількості.

2. Залежність розташування гирла бетоноводов по площі

Визначення розташування гирл бетоноводов можна охарактеризувати двома співвідношеннями:

- Величина заглиблення бетоноводу в порожнині щодо величини діаметра бетоновода.
- Величина заглиблення бетоноводу в порожнині щодо значення лінійної величини розміру порожнини по осі бетоноводу.

Наприклад, величину розташування бетоноводу (Рис. 2.10) можна описати таким виразом:

$$B_1 = A_0 + 23d, \quad (2.12)$$

$$\text{або } B_1 = A_2 - 0,34L, \quad (2.13)$$

де B_1 - розташування гирла бетоноводу з діаметром перетину d ;
 A - вісь по якій розташований бетоновод з довжиною L ;
 $0, 2$ - точки відліку по осі A .

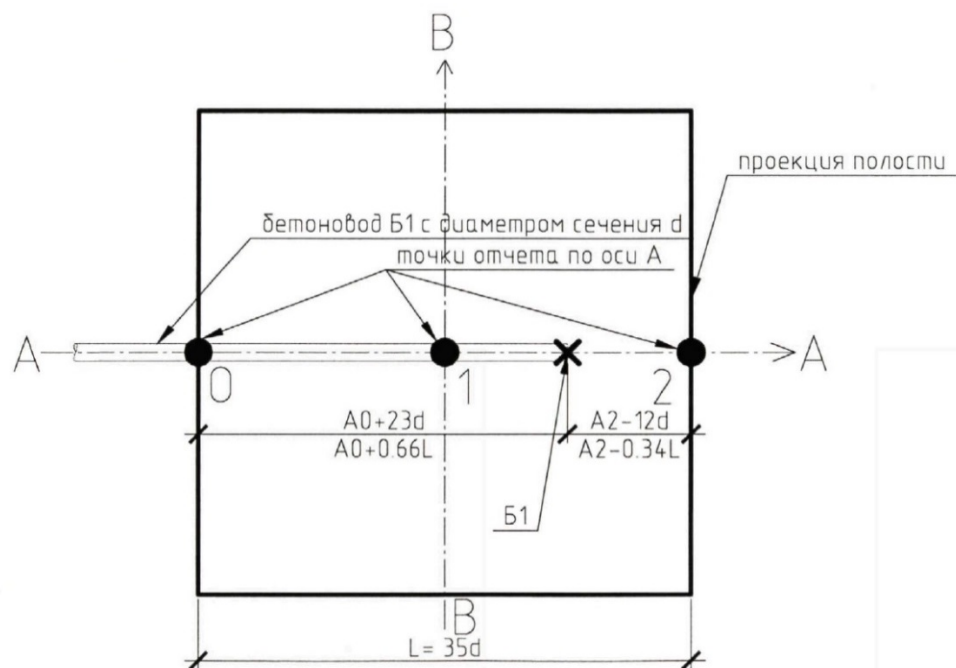


Рисунок 2.10 – Схема визначення розташування бетоноводу у порожнині

Оптимальні залежності значень розташування бетоноводов будуть визначені в ході модельних експериментів (розділ 3). Застосування даної схеми опису розташування бетоноводов дозволить переносити оптимальні значення розміщення бетоноводов на розглянуту порожнину.

3. Залежність впливу наявності включень в порожнині

Наявність включень суттєво впливають на якість заповнення порожнини, цю залежність можна описати таким виразом:

$$K_n \rightarrow \max, \text{ коли } B \rightarrow 0, B = n \cdot p \cdot \Phi \quad (2.14)$$

де n -коефіцієнт заповнення включеннями обсягу порожнини, який визначається як $n = \frac{v_{\text{вкл.}}}{v_{\text{обц}}}$, де $v_{\text{вкл.}}$ - обсяг включень в порожнині;

p - розташування включень в обсязі (по висоті) порожнини;

Φ - коефіцієнт форми включення (при круглому перетині $\Phi = 0,5$, квадратному $\Phi = 1$, складної форми A приймаємо 2).

Розташування включень p (Рис. 2.11) можна описати як залежність від наближення включення до верхньої площини порожнини і висловити її математично наступним чином:

$$p = \frac{d}{a} \cdot k_{\text{фр}} \cdot k_n, \quad (2.15)$$

де $d(h)$ -розмір поперечного перерізу включення, м;

a - розмір зазору між днищем і включенням, м;

$k_{\text{фр}}$ - Коефіцієнт залежності зазору з розміром дрібний заповнювач M_k (якщо $a > 1,5M_k$, то $k_{\text{фр}} = 1$);

k_n - коефіцієнт залежить від співвідношення висоти порожнини H до розміру включення (якщо $H / d > 2$ то $k_n = 1$).

$$B = \frac{v_{\text{вкл.}}}{v_{\text{обц}}} \cdot \frac{d}{a} \cdot k_{\text{фр}} \cdot k_n \cdot \Phi, \quad (2.16)$$

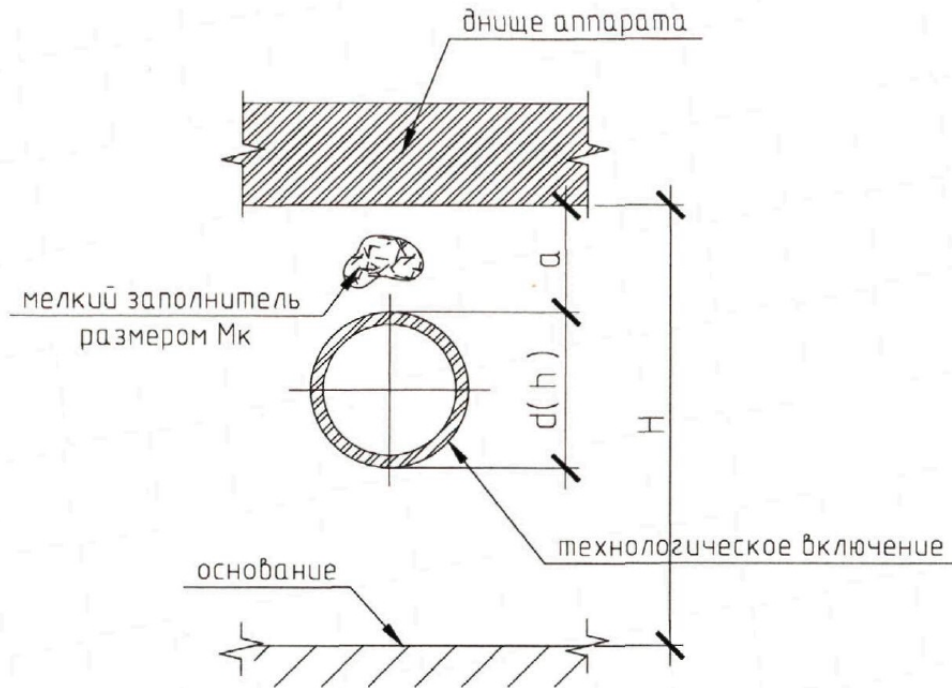


Рисунок 2.11 - Схема фрагмента порожнини з трубчастими включеннями

4 Залежність від реологічних властивостей бетонної суміші

Даний параметр застосовується лише для бетонних сумішей що не підлягають примусовому ущільненню (СУБС). Характеристикою R є розплив бетонної суміші зворотного конуса Абрамса. Коефіцієнт приймається по таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнта R

Розпливання	Значення R	Примітка
R5 (розпливання 56-62см)	0,8	По ДСТУ Б В.2.7-96-2000 Суміші бетонні. Технічні умови
R6(розпливання більше 62см)	1	
R7 (розпливання більше 70мм)	1,2	По SVB-Richtlinie

5 Вплив підпору

Для якісного заповнення порожнини необхідний гідростатичний підпір бетонної суміші (Рис 2.12). Кількісно цей вплив можна визначити коефіцієнтом підпору.

$$\Pi = \frac{H_{\text{под}}}{H}, \quad (2.17)$$

де $H_{\text{под}}$ -висота підпірної стінки, м.

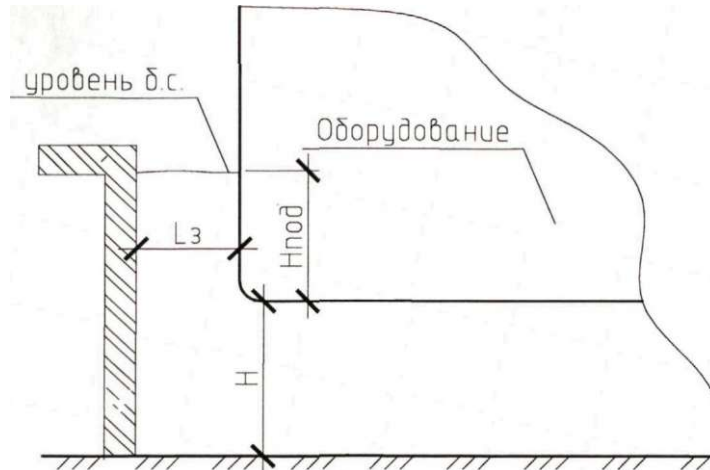


Рисунок 2.12 - Схема визначення висоти підбору бетонної суміші

6. Вплив величини зазору

Вимоги до зазору, в цілому такі ж, як підпірної стінки. При цьому величина зазору L повинна перевищувати величину крупного заповнювача як мінімум в три рази. Кількісно даний коефіцієнт виражається:

$$z = \frac{L_z}{H}, \quad (2.18)$$

Таким чином, виявлено критерії впливають на якість заповнення порожнини K_n , які дозволяють прогнозувати кінцевий результат даної технології бетонування порожнин. Складено формула дозволяє кількісно визначати якість заповнення порожнини.

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 прі'форміровані міцності властивостей торкрет-бетону, визначальним є ущільнення. З урахуванням того, що 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 таком.бетонірованіі 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 кінетичною 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 ідеалізованій 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 [12]

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 [15].

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

$$u_{tt} = a^2 \cdot u_{xx} \tag{2.19}$$

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;

ρ - 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

$$\begin{cases} u(x,0) = \varphi(x), \\ u_t(x,0) = 0 \end{cases} \quad (2.20)$$

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

Вирішується 1 - я крайова задача для відомого рівняння коливань струни [15]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \quad (2.21)$$

На основі розкладу розв'язування задачі (2.19 - 2.21) в кратний ряд Фур'є

$$u(x,t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos \frac{ak\pi t}{l} \sin \frac{k\pi x}{l}, \quad (2.22)$$

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

Можна використовувати також підхід Даламбера відповідно до якого рішення (2.21) завдання (2.19) - (2.21) має при довільній початковій формі $i = (\rho(x))$ вид суми двох розбігаються хвиль:

$$u(x, t) = \frac{\varphi(x+at) + \varphi(x-at)}{2}. \quad (2.23)$$

Виходячи з формули (2.23) швидкість руху довільної точки струни представлена в наступному вигляді:

$$v(x_0, t_0) = \frac{a}{2} (\varphi'(x_0 + at_0) - \varphi'(x_0 - at_0)) \quad (2.24)$$

Так як похідна функції в точці дорівнює тангенсу кута нахилу її графіка в цій точці, формула (2.24) означає, що максимальна швидкість зворотного руху точок струни, що мала початкову форму $i = \langle p(x)$, дорівнює максимальному тангенсу кута нахилу графіка функції $i = \langle p(x)$, 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

$$v_1 = v_2 \quad (2.25)$$

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 (2.25). 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 (2.21), вважається, що тангенс кута нахилу обговорюваної параболи до осі Ox дорівнює:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{v_1}{a}. \quad (2.26)$$

Тоді в момент часу, відповідний «торканню» двох розбігаються парабол (рисунок 2.13), швидкість зворотного руху центральної точки струни дорівнює тобто і тут виконується рівність (2).

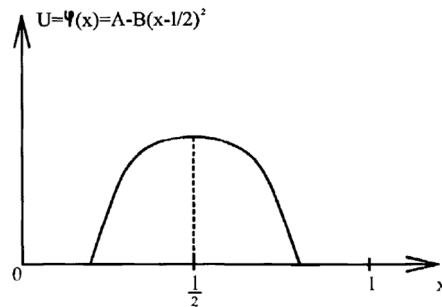


Рис.2.13 - Параболічне обурення струни

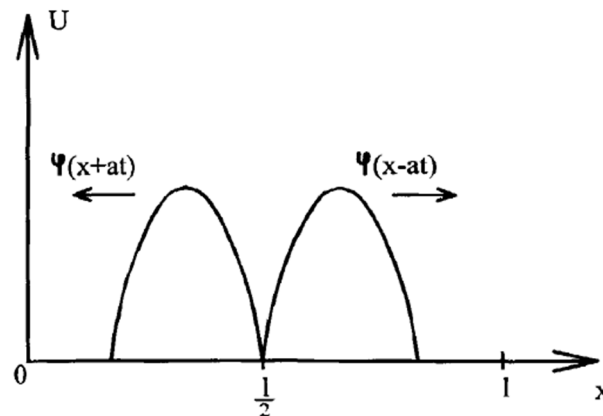


Рис.2.14 - Розбігаються параболічні хвилі

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 струмів 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 2.15) 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 і має після обурення форму кривою Гаусса з деяким параметром σ (рисунок 2.6) і описується виразом:

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

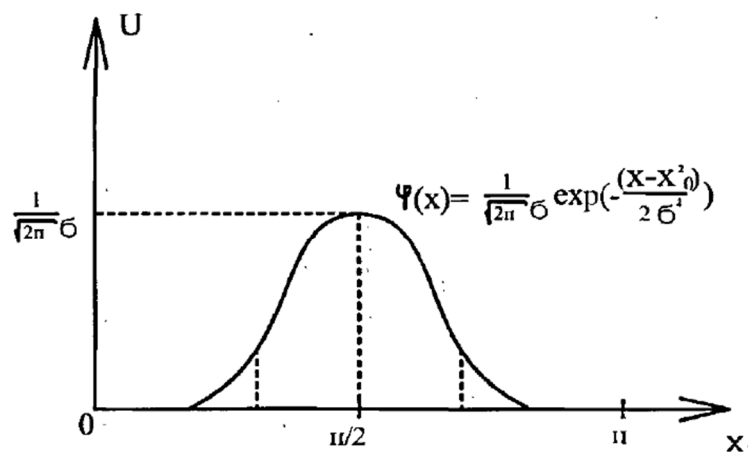


Рис.2.15 - «Гаусове» обурення струни

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 $x = \hat{x}$ 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 a можна пов'язати з енергією пружного збурення струни E_B :

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

тут k - коефіцієнт Гука, який можна вважати пропорційним (з деяким коефіцієнтом t) 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 a 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 tu .

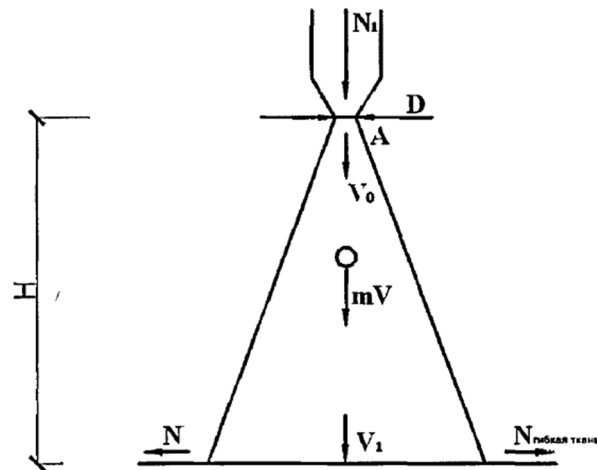


Рис.2.16 - Схема факела торкрет-бетону при нанесенні на горизонтальну поверхню пневмоопалубки

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

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

де: Q_0 - продуктивність компресора, м³ / с;

Q - продуктивність подачі бетону в матеріалопроводи, м³ / с.

Частинки бетону, що вилітають з сопла торкретной 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 i середню масу частинки бетонної суміші, що вилітає з сопла торкретной установки в залежності від значень параметрів $(?, \text{£})$. За малий проміжок часу ΔX з сопла установки «вистрілює» обсяг суміші, що дорівнює добутку продуктивності установки (Q^*)

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 Δt . 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 Δt , отримаємо 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 β - 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 [14]:

$$F = \alpha v^2$$

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

β - 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 ω - 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 v_2 , пов'язана зі швидкістю V_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 вильоту, 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 випливає, 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 [10, 11]. 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 °. 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] 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 [10] 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 [15]:

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

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

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

φ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу швидкості

при виході з сопла, $\varphi = \left[\int_0^A (v/v_0)^2 d(F/F_0)^2 \right]^{0,5}$ [15].

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

2.5 Технологічна послідовність (регламент) виконання робіт по влаштуванню бетонування

Практика показує, що терміни і якість виконуваних робіт багато в чому залежать від правильного підбору складу і кваліфікації спеціалізованих ланок для організації безперервного потокового режиму робіт, при якому досягається ритмічність виробництва і висока продуктивність праці. Безперервний потоковий метод дозволяє скоротити терміни будівництва, підвищити продуктивність праці за рахунок раціонального використання робочих, машин і механізмів і значно знизити вартість будівництва.

Для виконання монолітних залізобетонних робіт пропонується на об'єктах мати такі спеціалізовані ланки (бригади):

- опалубцікі вертикальних конструкцій;
- опалубцікі горизонтальних конструкцій;
- теслі;
- арматурники вертикальних конструкцій;
- арматурники горизонтальних конструкцій;
- ланка по влаштуванню сходових маршів і майданчиків;
- заготівельники арматури;
- бетонщики;

- обробники по остаточній послераспалубочной доведенні бетону. Ефективність швидкісного будівельного виробництва, його технічний рівень залежить від рівня організації і технології будівельного виробництва. Для досягнення максимальної продуктивності робіт, кожна з вище запропонованих

спеціалізованих бригад повинна виконувати певні операції. Арматурники вертикальних конструкцій:

- армування вертикальних конструкцій (окремими арматурними стрижнями);

- установка готових арматурних каркасів за допомогою крана;

- в'язка вузлів сполучень каркасів і стін;

- установка фіксаторів (зірочок) для забезпечення захисного шару бетону;

- установка отсечек з дротяної сітки (за потребою). Опалубщики вертикальних конструкцій:

- складання опалубних карт на окремі конструкції та їх частини;

- мастило опалубки;

- установка опалубки;

- скріплення опалубки стяжками і гайками;

- фіксація підкосів;

- вивірка опалубки до бетонування;

- остаточна вивірка відразу після бетонування;

- зняття опалубки з раніше забетонованої захватки;

- очищення, ремонт (у разі потреби), мастило знятої опалубки;

- установка опалубки на новій захватці (повтор циклу).

теслі:

- пристрій і установка проемообразователи стін, а також їх фіксація;

- закриття торців стіновий опалубки (в разі необхідності);

- обшивка фанерою (настил фанери) горизонтальної опалубки;

- обшивка некратних місць (за потребою);

- пристрій і установка проемообарованелей перекриття, їх фіксація;

- установка / зняття отсечек з дощок і фанери;

- пристрій індивідуальної опалубки і доборів.

У той час, коли ланка арматурників вертикальних конструкцій виробляє монтаж готових каркасів, опалубщикі вертикальних конструкцій виробляють

демонтаж одного бо опалубки забетонованих конструкцій, очищення, змащення знятої опалубки, і встановлюють її в проектне положення на новій захватці. Теслі в цей час ставлять проемообразователи, тобто готують фронт робіт для ланки арматурників і Опалубщик. Коли ланка теслярів встановлює проемообразователи, арматурники вертикальних конструкції армують стіну окремими стрижнями, тим самим готується фронт роботи для ланки Опалубщик (закриття другої сторони опалубки) і бетонників.

Опалубщики горизонтальних конструкцій:

- монтаж опалубки;
- вивірка змонтованої опалубки з геодезистами;
- демонтаж горизонтальної опалубки на раніше забетонованої захватке з пристроєм проміжного обпирання перекриття стійками;
- очищення ламінованої фанери;
- пча опалубки на нову захват;
- монтаж опалубки на новій захватці (повтор циклу).

Арматурники горизонтальних конструкцій:

- установка готових арматурних балок і ригелів;
- укладання та в'язання арматури з окремих стержнів;
- установка фіксаторів для забезпечення захисного шару бетону;
- пристрій відміток.

У період, коли ланка теслярів настиляє фанеру, ланка Опалубщик горизонтальних конструкцій виробляє демонтаж опалубки на забетонованої захватке, виконує переопіраніє перекриття стійками і пе опалуб на нову захват.

Ланка по влаштуванню сходових маршів і майданчиків:

- а) Устрій сходів в індивідуальній опалубці на монтажній відмітці (рис.2.3):
- монтаж опалубки (стійки, балки) для сходового майданчика;
 - вивірка змонтованої опалубки з геодезистами;
 - настил фанери сходового майданчика;
 - монтаж опалубки (стійки, балки) для сходового маршу;

- вивірка змонтованої опалубки для маршу з геодезистами;
- настил фанери сходового маршу;
- установка готових арматурних балок або ригелів для сходового майданчика;
- армування окремими стрижнями;
- установка фіксаторів для забезпечення захисного шару бетону;
- установка опалубки сходових ступенів;
- установка проміжних стійок;
- мастило форми;
- установка гребінок по краях шаблону;
- установка арматури з окремих стержнів;
- установка фіксаторів для захисного шару;
- установка петель для стропування;
- мастило фанери;
- закриття форми фанерою;
- бетонування сходового маршу;
- розпалублення і складування сходового маршу.

в) Установка сходового маршу на монтажній відмітці:

- строповка сходового маршу;
- пча краном до місця монтажу;
- тимчасове розкріплення в проектному положенні;
- расстроповка сходового маршу;
- з'єднання випусків арматури сходового маршу з арматурою сходового майданчика;

- вивірка проектного положення.

Заготівельники арматури:

- різка арматури;
- загинання арматури;
- заготівля хомутів;

- в'язка арматури (на шаблонах для стін, на козлах для колон і пілонів);
- в'язка арматури на козлах для колон, пілонів, балок і ригелів;
- заготівля елементів просторової фіксації;
- заготівля отсечек для перекриття.

бетонщики:

- укладання бетону в конструкції;
- ущільнення бетону (глибинними вібраторами);
- загладжування відкритої поверхні бетону;

- пристрій по верху бетону суцільний паро- теплоізоляції (при необхідності).

Отделочники по остаточній після распалубочной доведенні бетону:

- усунення дефектів поверхні і граней виробів, очищення закладних виробів і кромки від напливів бетону, ремонт сколів, раковин і усунення інших дефектів;

- дткова шпаклівка, шліфування поверхні, в тому числі обробка або усунення дефектів поверхні (наприклад, отвори від тяжів після зняття стіновий опалубки) передбаченої як фасадної. Чисельно-кваліфікаційний склад спеціалізованих ланок на основні види робіт наводиться в таблиці 3.7 глави 3. Необхідно враховувати, що кількість робочих в спеціалізованих ланках безпосередньо залежить від обсягу виконуваних робіт. '

Виходячи з вищесказаного, наводиться приклад послідовності виконання основних будівельних процесів для 24 - поверхового житлового будин (поверх за 48 годин, рис.2.2.а), де обсяг бетону першої захватки становив 120 ... 125м³, а другий захватки - 140 ... 145м³. Товщина стін 0,22м, а перекриттів - 0,25 м. Обсяги робіт для спеціалізованих бригад склали (на першу і другу захватки відповідно):

- площа вертикальної опалубки: 685м і 755м;
- площа горизонтальної опалубки: 380м і 430м;

- арматура вертикальних конструкцій: 8,26 ... 8,70т і 9,34 ... 9,60т;
- арматура горизонтальних конструкцій: 8,64 .. .8,94т і 9,68 .. .10,10т;
- обсяг бетону, що укладається: 120 .., 125м і 140. ..145м.

Практика показує, що крім основних спеціалізованих ланок на об'єкті також необхідно мати:

а) в першу (денну) зміну:

- окрему лан обробників по остаточній послераспалубочной доведенні бетону - 4чел .;
- ланка заготівельників арматури - 3чел .;
- ланка для в'язки арматурних каркасів на шаблоні - 4чел .;
- опалубщик для змащення опалубки - 1 люд;
- електриків - 2чел .; зварювальників - 2чел .;
- кранівника-1 чел .;
- різноробочих з прибирання сміття - 2чел .;

б) у другу зміну:

- ланка заготівельників арматури - 3чел .;
- електриків - 2чел .;
- зварювальника - 1 люд .;
- операторів бетононасоса - 2чел;
- кранівника - 1 чел.

Разом на об'єкті в першу зміну кількість робітників становить 56чел., А в другу зміну - 34чел.

Середня продуктивність (вироблення) при цьому на одного робітника в зміну (12 годин) становить 1,3 ... 1,6 м. забезпечення такої продуктивності дозволяє об'єкт з об'ємом монолітних бетонних робіт в 6,5 -... 7,0тис.м залізобетону виконати за 50 .. .55 робочих днів.

2.6 Рішення щодо вибору опалубки і виконання опалубних робіт

Сьогодні одним з найважливіших конрентних переваг на будівельному ринку стає швидкість і якість зведення будівель і споруд. Основним критерієм при цьому є використання сучасних систем опалубки. Застосування сучасних опалубних систем в монолітному житловому будівництві дозволяє значно підвищити технологічність, швидкість і якість будівництва.

Правильний вибір опалубної системи і індивідуальний підхід при підборі (розкладці) опалубки для кожного виду конструкцій, є важливим фактором при досягненні економії часу не тільки в ШМБ, але і при будівництві будівель і споруд в цілому. Вибір опалубної системи залежить від таких характеристик, як призначення і форма конструкції, комплектність і варіантність монтажу опалубки, і т.п. Практика показує, що не тільки за кордоном, але і в Україні масове застосування у всіх видах будівництва знайшла розбірно-переставна щитова опалубка. Універсальність цієї системи дозволяє використовувати її для зведення самих різних монолітних конструкцій.

Кількість опалубки і послідовність її монтажу залежить не тільки від обраної опалубної системи, але і від особливостей проектування опалубних робіт, які полягають в правильному підборі елементів і оптимізації їх використання.

Підбір опалубки для будівництва будівлі проводиться згідно розкладці по робочому проекту відповідно до кількості монтажних зон і розбивці їх на захватки (див. П.п.2.1.2). Розклад опалубки, як для вертикальних, так і для горизонтальних конструкцій можна зробити в спеціалізованих програмах, наприклад, ELPOS і TIPOS для опалубки «PERI» і «DOKA» відповідно. Необхідно відзначити, що дані програми розраховані в основному на типові проекти, а автоматична розкладка не дозволяє отримати оптимального рішення. Для більш складних проектних рішень, а також для оптимізації і максимізації кількості опалубки велика частина розкладки проводиться вручну. Оптимізація

дозволяє скоротити кількість повторюваних типорозмірів щитів, що, в свою чергу, призводить до скорочення загальної площі використовуваної опалубки. Вибір оптимальної кількості опалубки для об'єкта багато в чому залежить від конфігурації конструкцій (прямі, Т-образні, П-образні, Г-образні ділянки стін, замкнутий контур стін - ліфтові шахти). Так як опалубні системи мають універсальні елементи, вони можуть взаємозамінюватися при влаштуванні різних конструкцій. Наприклад, для влаштування колон замість колоною опалубки досить мати 4 стінових універсальних елемента (щита). При влаштуванні ліфтових шахт звичайні тов'є елементи можна замінити на розпалубочні ти, а дистанційні вставки - на розпалубочні стінові елементи.

Максимізація є підрахунок максимально необхідної кількості опалубки при зведенні монолітних конструкцій об'єкта з урахуванням технології виробництва монолітних робіт. В умовах ШМБ необхідну кількість стіновий опалубки вибирається з розрахун опалублівання 2-х найбільших захваток. Кількість горизонтальної опалубки розраховується на 3 найбільші суміжні захватки виходячи з того, що один комплект знаходиться під армуванням, другий - під бетонуванням, а третій - під монтажем / демонтажем. На досліджуваних об'єктах максимальну кількість опалубки було розраховано за допомогою ручної розкладки.

Виробнича практика показує, що при зведенні поверху за 2 дні (48 годин), необхідно на об'єкті крім 3 комплектів горизонтальної опалубки мати ще один комплект фанери на одну захват. Крім основних комплектів потрібні стійки для проміжного обпирання розпалублених перекриттів (мають міцність 40 ... 80% И28 для В25 ... 40).

Кількість стійок переопіранія залежить від наступних основних факторів:

- а) середня температура зовнішнього повітря найбільш несприятливого періоду в плановані терміни будівництва;
- б) швидкість навантаження конструкцій (в залежності від темпів будівництва);

- в) необхідні проміжні міцності при розпалубці, на етапах влаштування проміжного обпирання, до моменту зняття всіх стійок;
- г) кінетика твердіння використовуваного бетону.

2.6.1 Рішення по організації і виконанню арматурних робіт

При будівництві житлових будинків з монолітного залізобетону арматурні роботи по трудомісткості складають приблизно 25 ... 30% від загального обсягу монолітних робіт, тому необхідною умовою для ШМБ є чітка організація арматурних робіт на будмайданчи.

Зниження трудових витрат на арматурні роботи можна досягти шляхом перенесення основних процесів з монтажного горизонту в арматурну майстерню, яка знаходиться безпосередньо на будівельному майданчи. Майданчик для організації арматурної майстерні повинна мати достатньо місця для складування арматури і готових арматурних виробів.

В'язка арматурних каркасів в об'єктної арматурної майстерні має такі переваги як:

- висока продуктивність праці на стаціонарному робочому місці;
- відсутність витрат на замовлення і транспортуванні готових арматурних виробів.

Під арматурної майстерні мається на увазі просторово організаційний ділян робочої площі, в межах якого група працівників (ланка, бригада) виконує трудові обов'язки. Робоче місце забезпечує створення необхідних умов для раціонального та високопродуктивної праці. Для оцінки робочих місць застосовуються різні критерії. Наприклад, порівняння можна проводити на основі норми часу: при в'язанні арматури на монтажному горизонті з окремих стрижнів або на будівельному майданчи в арматурної майстерні на шаблонах і засобах підмоцнування (козлах).

В'язка арматурних виробів на будівельному майданчи в умовах ШМБ вигідно відрізняється від доставки готових арматурних виробів на об'єкт тим, що дозволяє уникнути різних затримок. Це пов'язано, по-перше, з транспортними проблемами, які виникають на дорогах, по-друге, з поставками заводу-виготовлювача або цеху, по-третє, з труднощами транспортування великогабаритних просторових виробів. Часто при прийнятті на об'єкті готових виробів, періодично утворюються черги, які виникають через одночасну доставки матеріалів для паралельного і безперебійного ведення робіт. Крім цього, монтажний кран зазвичай зайнятий основними видами робіт - монтажем або пчею першочергових матеріалів (опалубки, арматурних виробів і т.п.), а використання дткового крана (або навантажувача) для вантажно розвантажувальних робіт економічно не доцільно.

З метою підвищення вироблення арматурників, доцільно арматурні роботи виконувати двома спеціалізованими ланками: арматурниками вертикальних конструкцій і арматурниками горизонтальних конструкцій. Крім того, необхідно мати ще одну лан для заготовки арматурних каркасів.

Так як робота на об'єкті ведеться цілодобово в 2-е зміни, то в першу зміну виконується армування вертикальних конструкцій, а в другу - горизонтальних.

У арматурної майстерні в'язка арматурних каркасів для стін проводиться на шаблонах, де вже відзначений крок арматури, як в поздовжньому, так і в поперечному напрям. Шаблон являє собою прямокутну або квадратну раму, яка виготовлена зі сталевих точків. Розміри шаблону вибираються виходячи з типорозмірів (модулів) арматурних каркасів, які в свою чергу призначаються залежно від габаритних розмірів конструкцій. Наприклад, для стіни завдовжки 9м, оптимальний розмір модуля арматурного каркаса становить (за погодженням з проектувальниками) 3м без урахування нахлеста. Види і розміри нахлеста наводяться в проектній документації. При цьому розмір шаблону повинен становити не менше 3х3м (рис. 2.4).

На точках робляться пази в обох напрямках з кроком арматурних стержнів, або, замість пазів на нижньому борту точка приварюється розмітка (наприклад, з обрізків арматури). У пази розкладають перший ряд арматурної сітки і пов'язують в'язальною дротом, потім встановлюють і закріплюють каркаси для підтримування арматури верхньої сітки і розкладають другий ряд арматурної сітки аналогічно першому. Г-Отова каркаси складаються пачками і нумеруються в послідовності, яка прийнята для армування залізобетонних конструкцій. При в'язанні каркасів для колон і пілонів арматурні стержні розкладають на будівельних козлах (рис. 2.5).

Для забезпечення безперервної роботи спеціалізованої бригади арматурників на будівельному майданчи створюється запас заготовок на дві-три захватки, згідно їх черговості і обсягом робіт кожної захватки. Арматурні заготовки (армокаркаси) розмірами 3,5х3,5м; 3,5х1,4м (для стін), розмірами 3,5х1,4х0, 3м; 3,5х1,2х0, 3м; 3,5х1х0, 3м (для пілонів) пнються краном на монтажний горизонт пачками (по 3-4 штуки), у відповідності зі специфікаціями і графіком виробництва монолітних залізобетонних робіт і тимчасово там складуються. Потім каркаси встановлюються в проектне положення і з'єднуються між собою з допомогою арматурних стержнів і в'язального дроту дотримуючись правил нахлестов і разбежки стиків при укрупненні каркасів.

В даний час при зведенні монолітних конструкцій близько 70% арматурних робіт виконується вручну безпосередньо на будмайданчи. Проте, правильна організація і чітка опрацювання технології виконання арматурних робіт дозволяє скоротити час на армування конструкцій.

Трудомісткість арматурних робіт може бути істотно знижена при широкому використанні засобів малої механізації. Досвід будівництва показує, що ступінь готовності арматурних виробів на будмайданчи залежить від застосовуваного обладнання, оснащення і пристосувань, що сприяють скороченню ручної праці, що є найважливішим аспектом для швидкісного монолітного домобудівництва. Для різання арматурної сталі застосовують

електромеханічні верстати, наприклад, СМЖ-172 і СМЖ- 332Б [18,22,67,68]. Загину арматурної сталі виробляють на малогабаритних верстатах, які мають висо продуктивність, наприклад СГА-1.

Також одним із способів удосконалення організаційнотехнологічних процесів арматурних робіт є збірка в Приоб'єктний майстерні просторових каркасів з плоских арматурних сіток, доставлених з арматурного цеху (заводу-виготовлювача), і пча готових виробів за допомогою монтажного крана до місця установки.

Поряд з перерахованими вище способами удосконалення організаційно-технологічних процесів арматурних робіт можливо все заготівельні процеси (наприклад, в'язка арматурних каркасів на шаблонах і ін.), Що виконуються на будівельному майданчи в арматурної майстерні, перевести в арматурний цех, яка не розташовується на будівельному майданчи. Перевага такого рішення полягає в наступному:

- зменшення кількості заготівельників арматури;
- можливість зменшення розмірів будмайданчика за рахунок відсутності арматурної майстерні при будівництві в обмежених умовах;
- скорочення обсягу арматури для вертикальних конструкцій, наявного на будівельному майданчи.

Незважаючи на перераховані переваги в'язки арматури в арматурному цеху, це рішення має недолік, як уже згадувалося, пов'язаний з фінансовими витратами на транспортування готових виробів з арматурного цеху на будівельний майданчик, який необхідно враховувати при організації арматурних робіт. Також, не дивлячись на індустріалізацію арматурних робіт, коли на будівельну ділян поставляються в достатній кількості готові просторові каркаси і уніфіковані сітки, на будмайданчи і раніше буде проводитися укрупнена збірка, виготовлення некратних і нетипових арматурних елементів, стивання стрижнів.

2.6.2 Рішення з бетонування монолітних конструкцій

Сучасні досягнення в технології виконання бетонних робіт були б неможливі без наявності відповідної технічної бази. До не давнього часу бетонування конструкцій здійснювалося за допомогою схеми «кран-баддя», коли бетонна суміш вивантажується з міксера в цебер і краном петься до місця укладання. Також може використовуватися бункер, оснащений гнучким рукавом, який в деякій мірі дозволяє полегшити укладання бетонних сумішей у важкодоступні місця. Але при такій схемі швидкість і продуктивність робіт багато в чому залежить від параметрів крана і загальної організації стройгенплану. Зберігається ймовірність утворення «мертвих зон» і важкодоступних місць бетонування. Це веде до використання дткової техніки і неминучого збільшення трудовитрат. У кожному конкретному випадку рекомендується заздалегідь призначити спосіб пчі бетонної суміші в залежності від особливостей зведених конструкцій і наявності засобів механізації, за допомогою яких можна забезпечити укладання загального обсягу бетону в безперебійному режимі. У сучасному будівництві при виробництві бетонних робіт застосовуються як окремі методи пчі бетонної суміші, так і змішані (наприклад, пча тільки за схемою «кранбаддя» або за схемою «бетононасос + «кранбаддя»»).

Як правило, кран забезпечує пчу бетонної суміші до найбільш віддаленої точки бетонування (на максимальному вильоті) цебром місткістю не більше 1м³. Практика показує, що в умовах сучасного монолітного будівництва темпи зведення будівлі постійно збільшуються, а відповідно зростає обсяг бетону, що укладається в конструкції за добу. Тому виникає необхідність застосування крана з більшою вантажопідйомністю на максимальному вильоті, що забезпечувало б пчу бадді ємністю 1,5 м, 2м і більше. Але використання крана з такими характеристиками економічно не доцільно. У зв'яз з цим далі

пропонується метод пчі бетонної суміші за допомогою декількох цебер різної ємності.

Особливість такого методу полягає в тому, що на об'єкті рекомендується мати три цебра різної ємності: перша - 2м, друга - 1,5 і третя - 1м. При цьому одна бадья заповнюється бетонною сумішшю, інша перебуває в очіванні підйому, а третя - в процесі розвантаження бетонної суміші.

Більш детальна технологія бетонування конструкцій декількома цебрами наводиться в п.п. 3.4. Такий метод дозволяє:

- скоротити час циклу використання бадді «заповнення-пча- спорожнення- повернення» за рахунок одночасного використання декількох цебер;
- збільшення обсягу бетону укладається в конструкції в один прийом, за рахунок більшої місткості бадді;
- вибір бадді певної ємності відповідно до віддаленістю бетонованих конструкцій при пчі бетонної суміші до місця укладання;
- розширення зони бетонування конструкцій з використанням бадді ємністю 2м³, за рахунок її поступового спорожнення;
- швидше розвантажувати автобетоносмеситель в зв'яз з постійною наявністю бадді спеціально під розвантаження.

Незважаючи на всі переваги такого методу в умовах ШМБ бетонування конструкцій тільки за допомогою бадді все ж не дозволяє виконати весь обсяг бетонних робіт в заданий термін. Тому, стає актуальним використання змішаного методу пчі бетонної суміші, тобто поряд із застосуванням бадді бетонування вести за допомогою бетононасоса.

Бетононасоси були розроблені, в першу чергу, для того, щоб підвищити швидкість пчі бетону і укладання його в важкодоступні ділянки.

Продуктивність таких бетононасосів найчастіше становить від 30м / ч до 90м / ч. У разі використання змішаної схеми бетонування («кранбадья» + бетононасос) в умовах ШМБ слід рекомендувати бетонування стін та окремо розташованих немасивна і середнемасивних вертикальних конструкцій (колон і

пілонів) здійснювати за допомогою цебер, а для бетонування горизонтальних конструкцій використовувати високопродуктивний бетононасос. Це дозволяє підвищити швидкість бетонування, дотримуючись технологію укладання бетонної суміші.

Практика показує, що допомогою такого змішаного методу («кранбадья» + бетононасос) щодня можна укласти в конструкції в середньому близько 100м бетону. Наприклад, для житлового будин в мкр.

Бесдіково вкладалося 120 ... 145м, при цьому, обсяг бетону для вертикальних конструкцій - 65м³ на добу, а для горизонтальних - 75м³. Надземна частина з монолітного залізобетону цього 24-х поверхової будівлі була зведена за 2 місяці.

Стрімкі темпи зростання будівництва висотних споруд і монолітних комплексів підштовхнули розробників і виробників будівельного устаткування на розвиток більш досконалих технологій. Серед бетононасосної техніки таким нововведенням стали автобетононасоси високої продуктивності 90-163м, що пють бетонну суміш на висоту до 57м (наприклад, автобетононасос компанії Schwing Group). Автобетононасос здатний виконувати широкий спектр завдань: бетонування фундаментів, стін середньої масивності і перекриттів, дозволяючи пвати бетонну суміш в будь-я точ зони обслуговування. Мобільність автобетононасоса і можливість швидкого і своєчасного підведення розподільної стріли в будь-яке потрібне місце дозволяє значно прискорити темпи будівництва як невеликих, так і великих об'єктів (як допоміжний бетононасоса). Таким чином, при бетонуванні конструкцій для пчі бетонної суміші можна повністю відмовитися від схеми «кран-бадья», а бетонувати всі основні конструкції із застосуванням автобетононасоса або стаціонарного бетононасоса (включаючи спільну роботу з автобетононасосом на низьких позначках бетонування).

При бетонуванні тільки бетононасосом слід враховувати, що швидкість пчі бетонної суміші в немасівние і середнемасівние вертикальні конструкції необхідно обмежувати для дотримання технології укладання бетонної суміші і

щоб уникнути високого динамічного впливу на опалуб, яке може викликати її відхилення від проектного положення.

Крім способів бетонування, в ШМБ важливу роль відіграє сам бетон - його структурні і технологічні властивості. Крім забезпечення проектних вимог по міцності, водонепроникності, морозостійкості і іншим характеристикам в «зрілому віці», він повинен відповідати також і певним технологічним вимогам в процесі виготовлення монолітних конструкцій. Тобто бетон повинен:

- легко укладатися в конструкцію;
- зберігати свої реологічні властивості в процесі доставки, пчі і розподілу;
- мати оптимальну кінети твердіння та збалансоване тепловиділення (для масивних конструкцій).

Перша вимога задовольняється за рахунок використання високорухливих бетонних сумішей. Застосування литих або самоушцільнених бетонних сумішей дозволяє укласти великі обсяги бетону з мінімальними затратами, в тому числі на пошарове вібрування.

При використанні високорухливих сумішей особлива увага приділяється збереженню їх основних реологічних властивостей, таких як рухливість, нераслаіваемость, однорідність. Висока рухливість при мінімальному В / Ц відношенні і стабільність консистенції досягаються введенням різних спеціальних добавок - в основному пластифікаторів. У зимовий час зберегти реологічні властивості бетонної суміші допомагають добавки з протиморозним ефектом - знижують температуру замерзання розчинної частини.

Особливе значення в умовах ШМБ набувають терміни схоплювання і інтенсивність твердіння бетону. З одного бо, він повинен тривалий час зберігати необхідну рухливість (в процесі транспортування, пчі і укладання), а з іншого бо - досить швидко набирати міцність після укладання в конструкцію. Високоподвижних пластифіковані бетони в ранні терміни зазвичай тверднуть повільно, що вкрай небажано в умовах ШМБ. У той же час укладання жорстких сумішей також є важким. Бетон на БТЦ і ОБТЦ зберігає рухливість нетривалий

час, на ВНВ можна отримати бетон зі збалансованими термінами схоплювання і твердіння, однак використання цих в'язучих в житловому будівництві, особливо бюджетному, економічно не вигідно. Існують спеціальні добавки - прискорювачі твердіння, які призначені вирішувати проблему збалансованості термінів збереження рухливості і інтенсивності твердіння. В основному це імпортні добавки, наприклад, Реобілд 1000-2000, Реомікс 405 та інші, але вони також є дорогими і не завжди ефективні при дванні в вітчизняні бетони.

У зв'яз з цим, в швидкісному будівництві оптимально застосовувати звичайний бетон на ПЦ400-500, при необхідності містить недорогі вітчизняні добавки:

- в літніх умовах - суперпластифікатор (другий, рідше першої групи, наприклад, С-3) при невеликому дозуванні;

- в зимових умовах - поліфункціональні (з пластифікуючим, протиморозним і прискорює ефектом) або комплекси пластифіцируючих і протиморозних добавок з ефектом прискорення, наприклад С-3 і Семпласт-Кріо, С-3 і ФН або НН + ХК.

Дткову інтенсифікацію тверднення бетону після укладання в конструкцію до необхідної міцності в потрібні терміни можна забезпечити через керовані режими теплової обробки.

Таким чином, цикл виробництва бетонних робіт в умовах ШМБ, як і в сформованому монолітному будівництві, може носити всесезонний характер.

3 ЕКСПЕРИМЕНАТЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇЇ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

3.1 Характеристики об'єкта

В результаті отриманих результатів при проведенні модельних експериментів, в яких була позитивно перевірена пропонована технологія, були розроблені рекомендації, в яких вказані раціональні технологічні параметри з бетонування конкретної порожнини. Дані раціональні параметри були випробувані в ході виробничого експерименту при зведенні натурального фрагмента енергетичного апарату.

Метою цього натурального експериментального дослідження є відпрацювання технології заповнення порожнини під днищем апарату із застосуванням промислового обладнання - бетононасосів і уточнення раціональних параметрів бетонування.

Порожнина (Рис. 3.1-3.5) укладена між двома металевими листами (опорною плитою, товщиною 30 мм, оснащеної тавровими ребрами 250мм і підставою обладнання з товщиною листа 50 мм). Висота зазору становила 350мм. У цій порожнині міститься система горизонтально орієнтованих трубопроводів, діаметр труб 108 і 76мм. Поверх системи трубопроводів розміщена арматурна сітка А500Ø12 100x100. На сітці змонтовані гнучкі гофровані трубки діаметром 25мм (Рис. 3.1, 3.5). Порожнина в плані являє собою сектор в 40 ° радіусом 3.0м.

За межами контуру утворилася порожнинирозташовується опалубка, яка має в плані дугоподібну форму з радіусом вигину 3,355м. Над порожниною вона підноситься на 200мм з зазором по контуру в 355мм. В опалубці розташований отвір під бетоновод.

У запропонованій технології, відповідно до проектного розташування елементів корпусу, організовується зазор в 355мм по всьому периметру

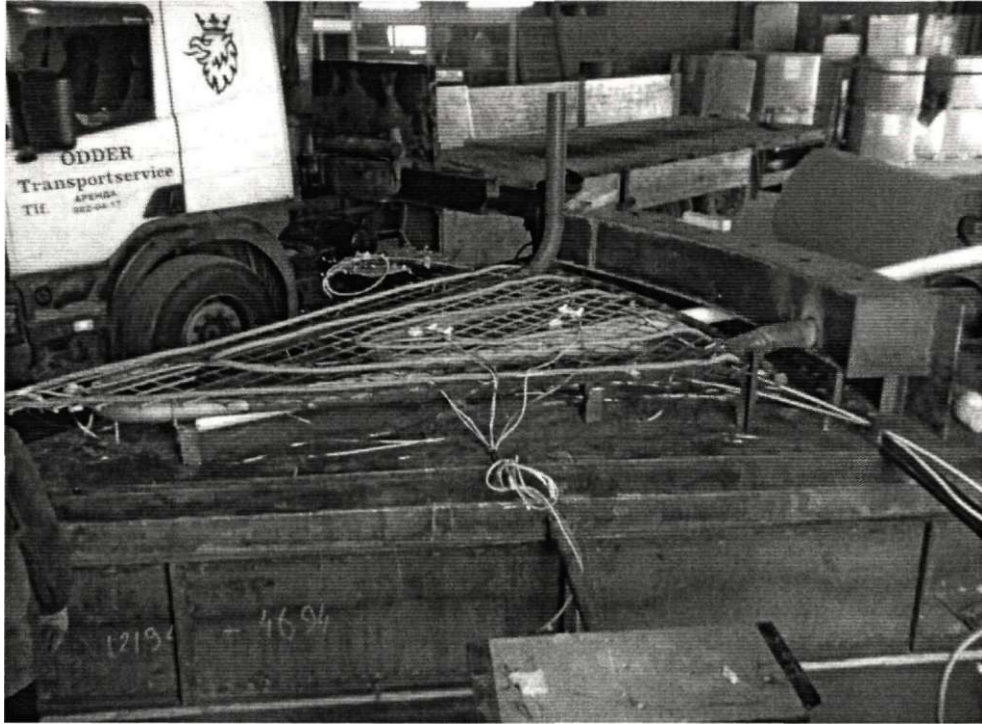


Рисунок 3.1 - Насичення простору технологічними проходками (до установки обладнання)

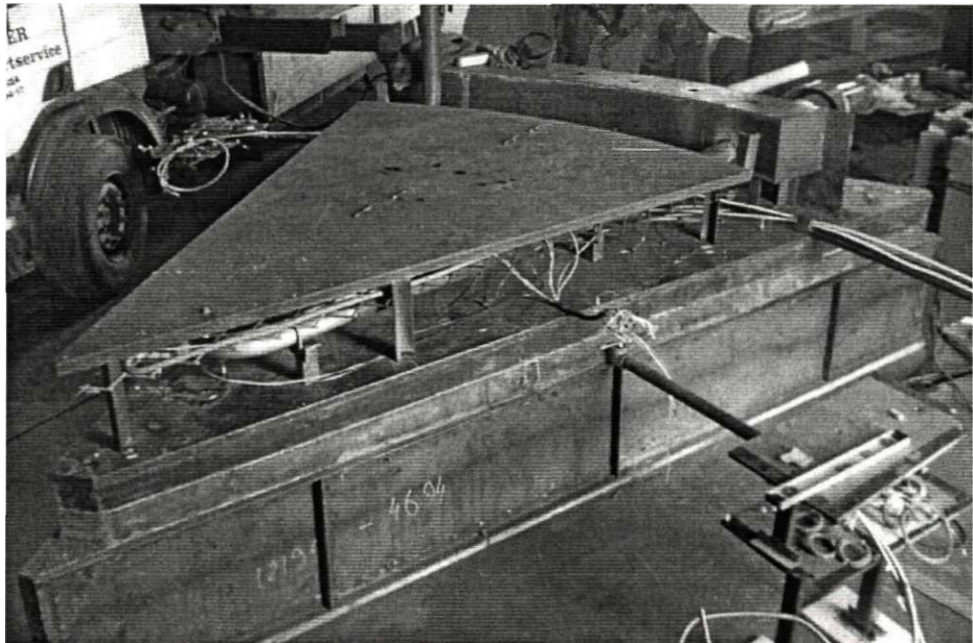


Рисунок 3.2 - Вид на порожнину після установки плити днища без бічної опалубки

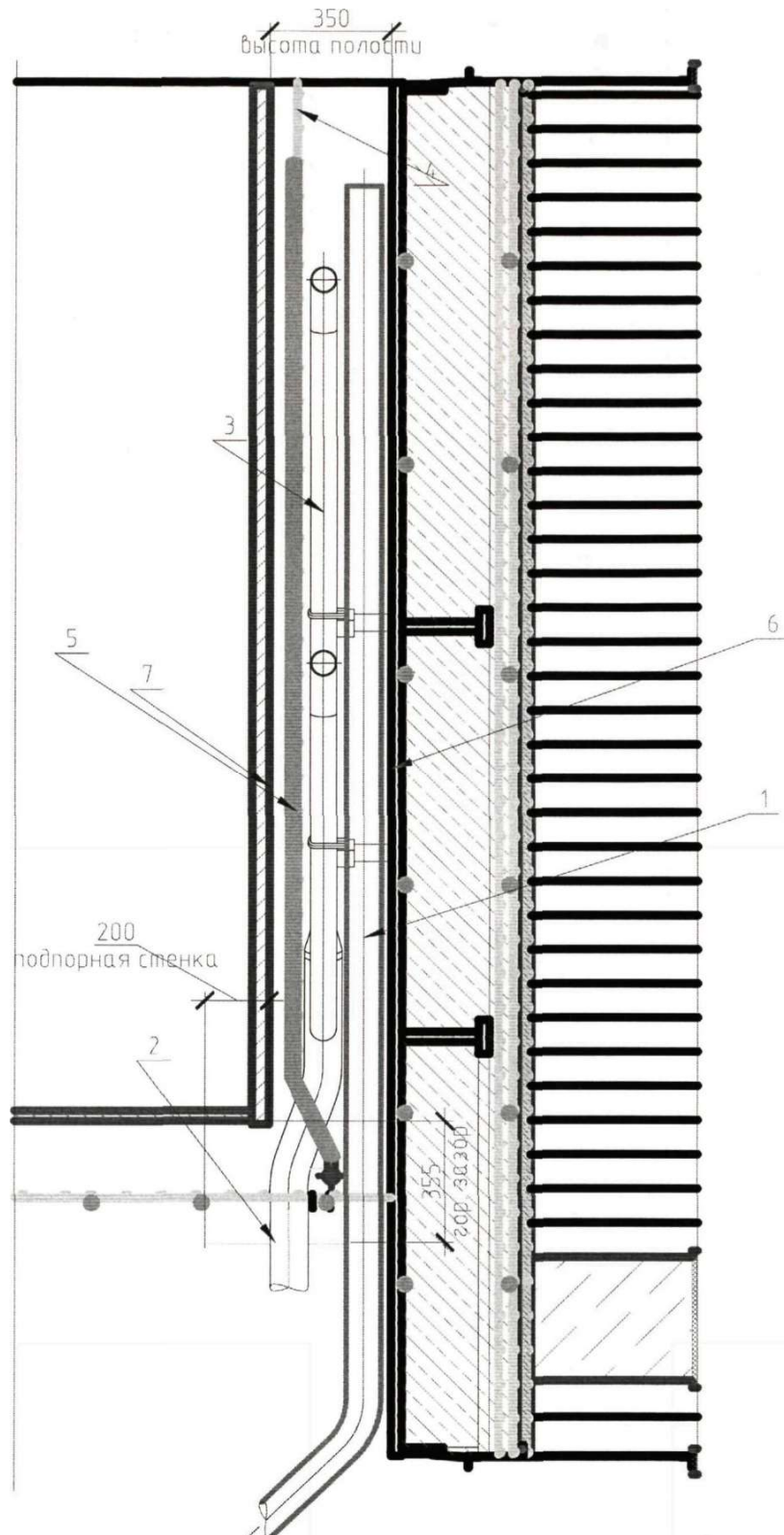


Рисунок 3.3 - Схема порожнини (розріз): 1 - бетоновод; 2 - кільцева знімна опалубка; 3 - трубопроводи; 4 арматурна сітка; 5 - гнучкі гофр.трубки; 6 - нижня металева плита; 7- верхня металева плита

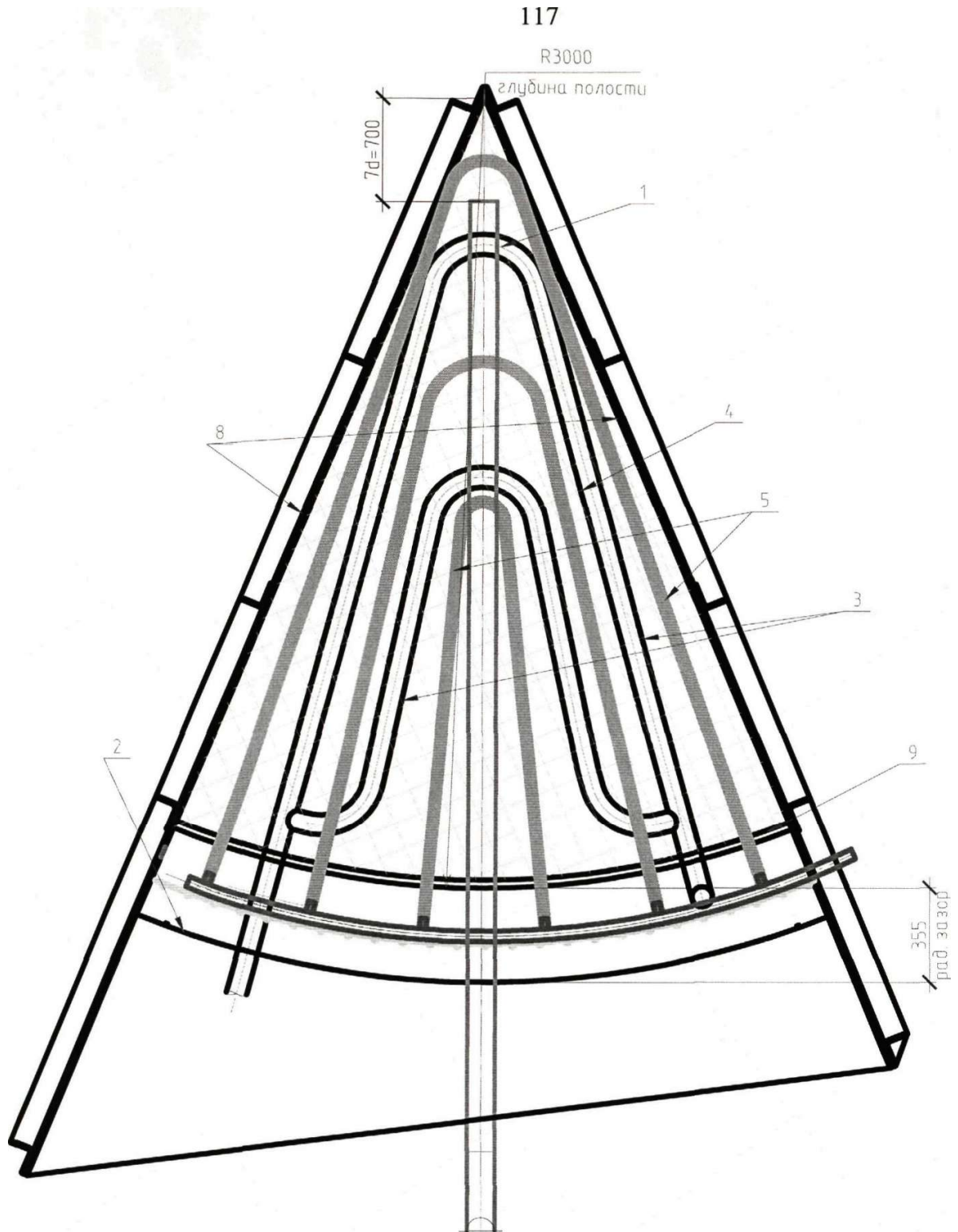


Рисунок 3.4 - Схема порожнини (вид зверху): 1 - бетоновод; 2 - кільцева знімна опалубка; 3 - трубопроводи; 4 арматурна сітка; 5 - гнучкі гофровані трубки; 6 - нижня металева плита; 8-бічна опалубка; 9-оболонка



Рисунок 3.4 - Вид порожнини з торця до бетонування, насичення порожнини, бетоновод

бетоніруемой порожнини. З огляду на особливість зводиться макета, бічні сторони сектора плити днища були герметизовані металевими листами опалубки товщиною 10мм. При цьому з'явилася можливість додаткового контролю процесу заповнення порожнини через отвори діаметром 10 мм з кроком 500мм, розташовані по периметру опалубки на рівні нижньої площини плити днища. У кутовій частині плити було організовано контрольний отвір, оснащене полімерної армованої прозорою трубкою Ду25мм.

Обсяг бетонованої порожнини під днищем становив $1,1 \text{ м}^3$.

Обсяг бетонування з урахуванням підпірної стінки становив $1,5 \text{ м}^3$.

3.2 Експериментальне устаткування і оснащення

Бетоновод, з робочим перетином 100мм, знаходився в плані по осі сектора, а його гирлі височіла над підставою на 20мм, що дорівнює двом максимальним діаметром крупний заповнювач. Від кута сектора, гирло бетоноводу перебувала в 700мм (або 7 діаметрів бетоноводу). Отвір під бетоновод мало гумовий ущільнювач з нанесеним поверх нього силіконовим герметіком ТІТАН.

Як апарат механізованої подачі бетонної суміші використовувався бетононасос роторного типу Vector, змонтований на базі автомобіля ISUZU (вантажопідйомність 6 тонн). Виліт стріли - 15 м, максимальна висота подачі бетону 45м, продуктивність 5-25 м³ / год (рис 3.6).

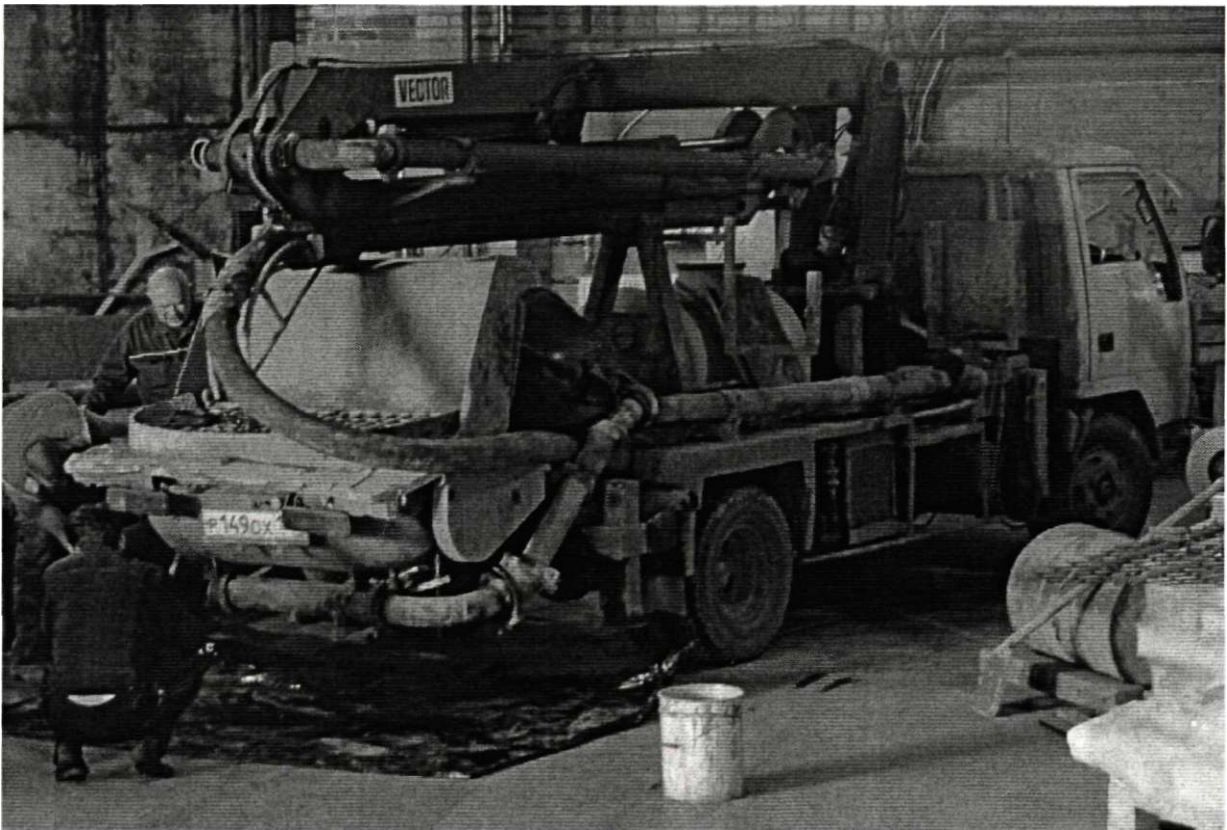


Рисунок 3.6 - Бетононасос роторного типу

Бетононасос оснащений витратоміром з циферблатом зі стрілочним індикатором, за яким визначається поточна швидкість подачі суміші, а також загальний поданий обсяг бетонної суміші (Рис 3.7). бетононасос оснащений

прийомним бункером-мішалкою для прийому бетонної суміші. На бункері встановлені ґрати для виключення можливості попадання великих включень в бетоновод.



Рисунок 3.7 - Регулятор потоку бетонної суміші

Гнучкий подає армований шланг під'єднувався до бетоноводу через фланцеві наконечники за допомогою стандартного інвентарного типу важеля замку з гумовими манжетами. Для жорсткості фланець від бетоноводу кріпився до металевих конструкцій макета.

Склад суміші представлений на таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Склад жаростійкого важкого бетону

Складові		Витрата на 1000л, кг	
Портландцемент М500		400	
Зола-унос		120	
Габбродіабаз, відсів		700	
Габбродіабаз, щебінь фр. 5-10		1050	
Мікрокремнезем	МБ 10-01	31,5	36
С-3		3,5	
Вода		228	

Проектна марка БСГ В35Р6F300W6. До бетону пред'являлися наступні вимоги (Таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 – Вимоги до бетону

Характеристика	Величина
Клас бетону по міцності на стиск	В35...В40
Температура тривалої експлуатації конструкцій з бетону	420°С
Температура короткочасної дії (3 години) при аварійній ситуації	600°С
Клас бетону по міцності на осьовий розтяг	не менее В 1,6
Залишкова міцність бетону на стиск після тривалого нагрівання не менше	В10
Залишкова міцність бетону на осьовий розтяг після тривалого нагрівання	Не нормується
Коефіцієнт теплопровідності	1,0 Вт/(м°С)
Марка бетону за середньою густиною в сухому стані	Не нормується

3.3 Методика проведення експерименту

На відміну від розробленої технології, з подачею суміші з декількох сторін, в даному бетонуванні вироблялося з одним подає бетоноводом, внаслідок чого сумарна швидкість подачі для даного типу порожнини складала 5м/ч. Бетонування порожнини повинно тривати до виконання всіх перерахованих умов:

- поява бетонної суміші у всіх торцевих контрольних отворах;
- поява суміші в кутовому горизонтальному контрольному отвір з гарантованим стовпом бетонної суміші не менше 20мм;
- організація гарантованого підпору з боку відкритої поверхні порожнини (зазор між оболонкою і колектором (радіальної незнімної опалубкою)).

Виконання даних умов в сукупності з застосуванням раціональних параметрів гарантувало якісне заповнення порожнини.

Хід експерименту. У сформовану порожнину через отвір в опалубці в ложементи встановлювався бетоновод. Труба бетоноводу мала «г-подібну» форму, з виходить за опалубку вертикальної секцією, що дозволяло при від'єднанні шланга бетононасоса зберігати стовп бетонної суміші. До фланця бетоноводу під'єднувався подає шланг бетононасоса. У зазорі між підставою і обладнанням встановлювалася фотокамера для фотофіксації процесу з періодичністю в 30 секунд. У кутовий отвір була вставлена прозора полімерна армована прозора трубка.

Бетонна суміш готувалася на бетоносмесительном вузлі ЗАТ «Метробетон». Для приготування застосовувався двовальний змішувач з горизонтально орієнтованими валами з об'ємом по завантаженню 3м³. Перед укладанням бетонної суміші в порожнину проводилася перевірка її реологічних властивостей: розплив зворотного конуса склав 63см, що відповідає марці по легкоукладальності Р6. Також були заформованими стандартні зразки 100х100х100мм для визначення фізико-механічних характеристик. Смесь до бетононасосів доставлялася автобетоносмесителем на базі Mercedes з об'ємом барабана 8м³. Подавалася суміш в приймальний бункер бетононасоса через роздатковий лоток (Рис. 3.8). Приймальний бункер оснащений ґратами з розміром осередків 50х50мм.

Бетонна суміш заповнювала простір (Рис. 3.9-3.12) по ходу руху суміші по бетоноводу до висоти 100мм, що дорівнює робочому діаметру бетоноводу. Після цього суміш, досягнувши кута порожнини, стала просуватися в протилежну сторону щодо руху по суміші бетоноводу, зберігаючи при цьому кут рівний приблизно 15 ° до горизонту. У міру просування бетонної суміші до торцевої опалубці, кут нахилу зменшувався. Досягнувши опалубки, кут нахилу становив приблизно 5 °. Рівень бетонної суміші став підніматися вище гирла бетоноводу, зберігаючи кут нахилу по всій площі заповнення. Досягнувши рівня висоти труб розігріву (як і в модельних експериментах), а потім і арматурної сітки, кут нахилу поверхні бетонної суміші став зменшуватися, безперервно піднімаючись



Рисунок 3.8 - Подача бетонної суміші в приймальний бункер бетононасоса



Рисунок 3.9 - Початок заповнення порожнини

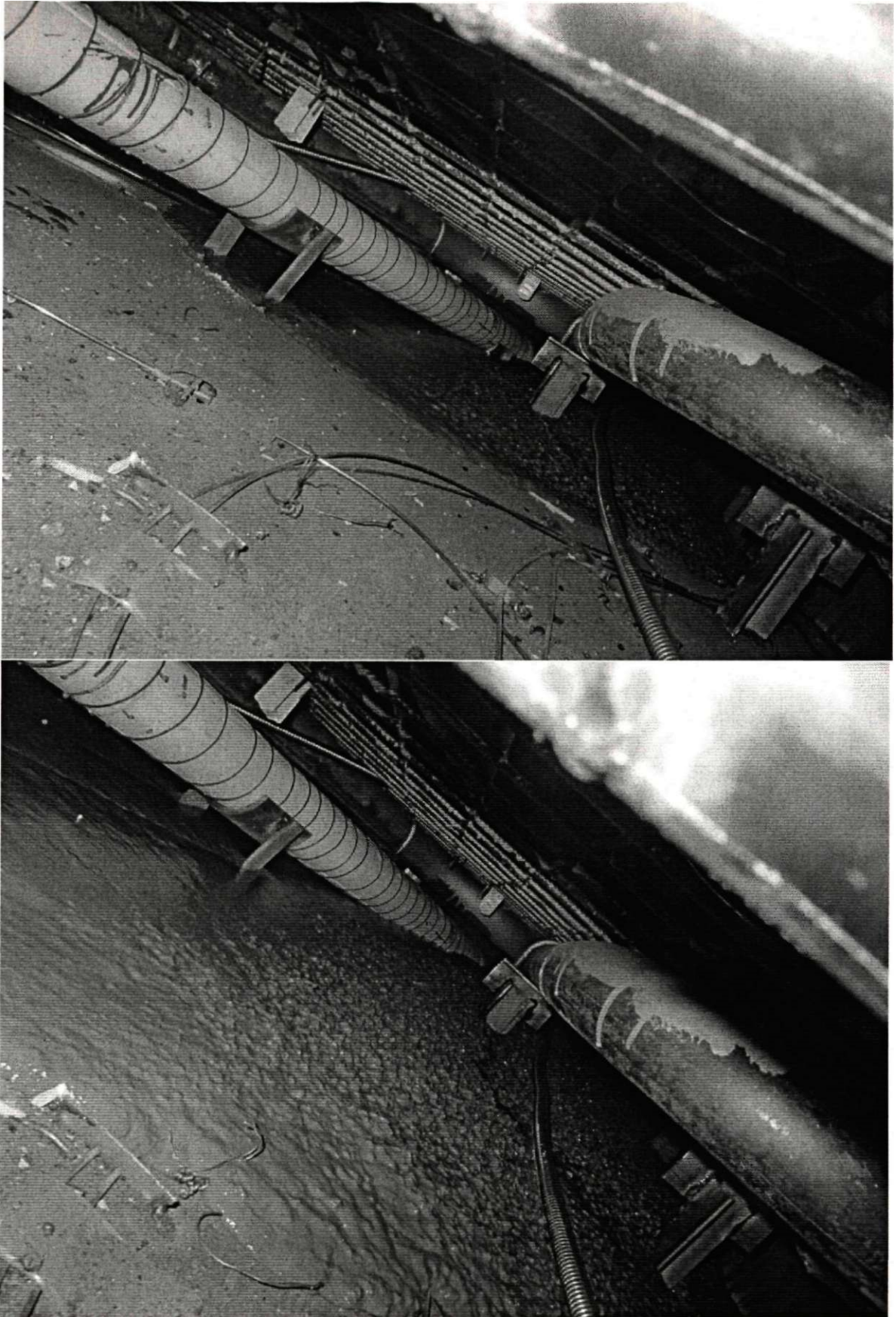


Рисунок 3.10 - Просування бетонної суміші з ухилом в 10 градусів

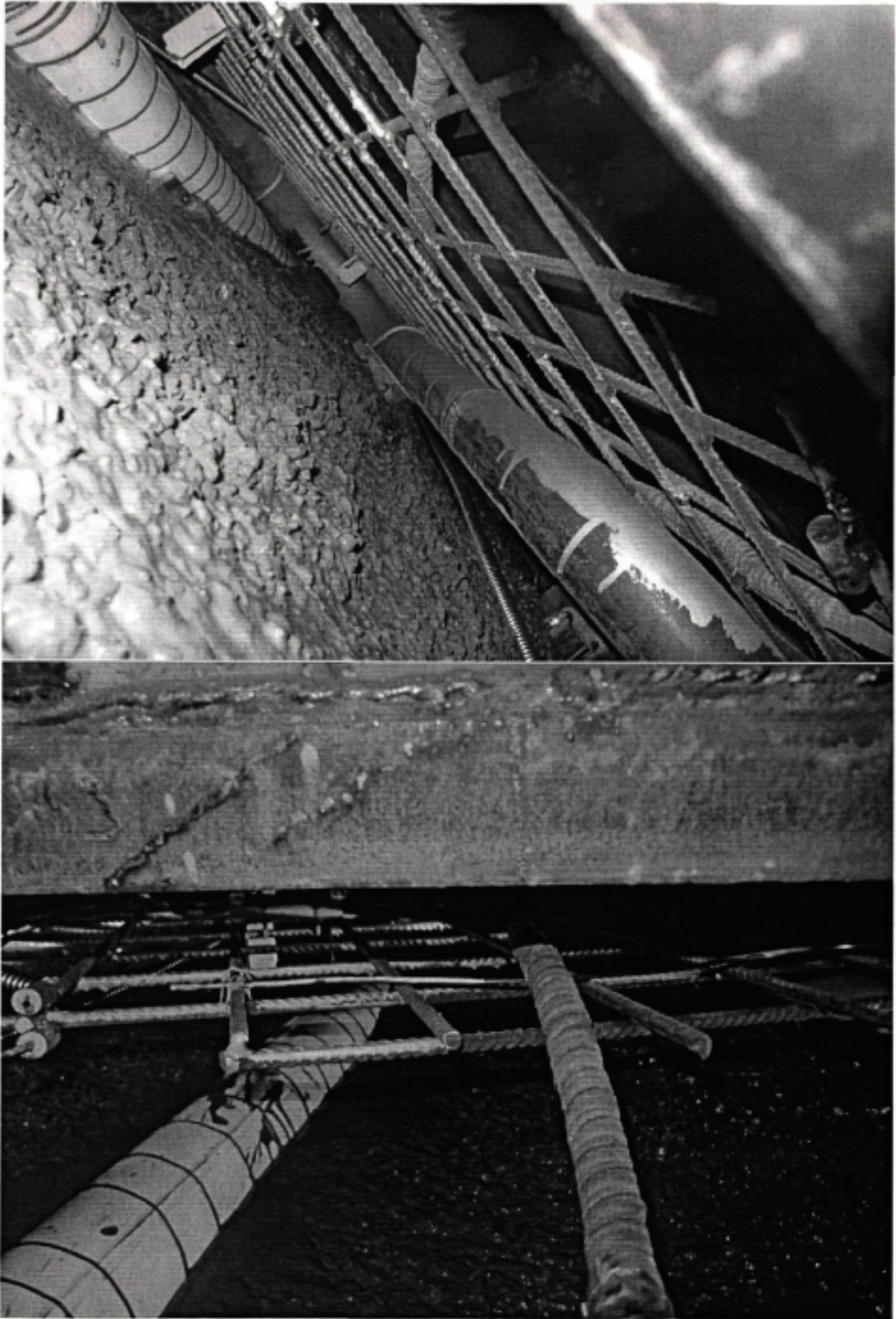


Рисунок 3.11 - Просування бетонної суміші з ухилом в 5 градусів

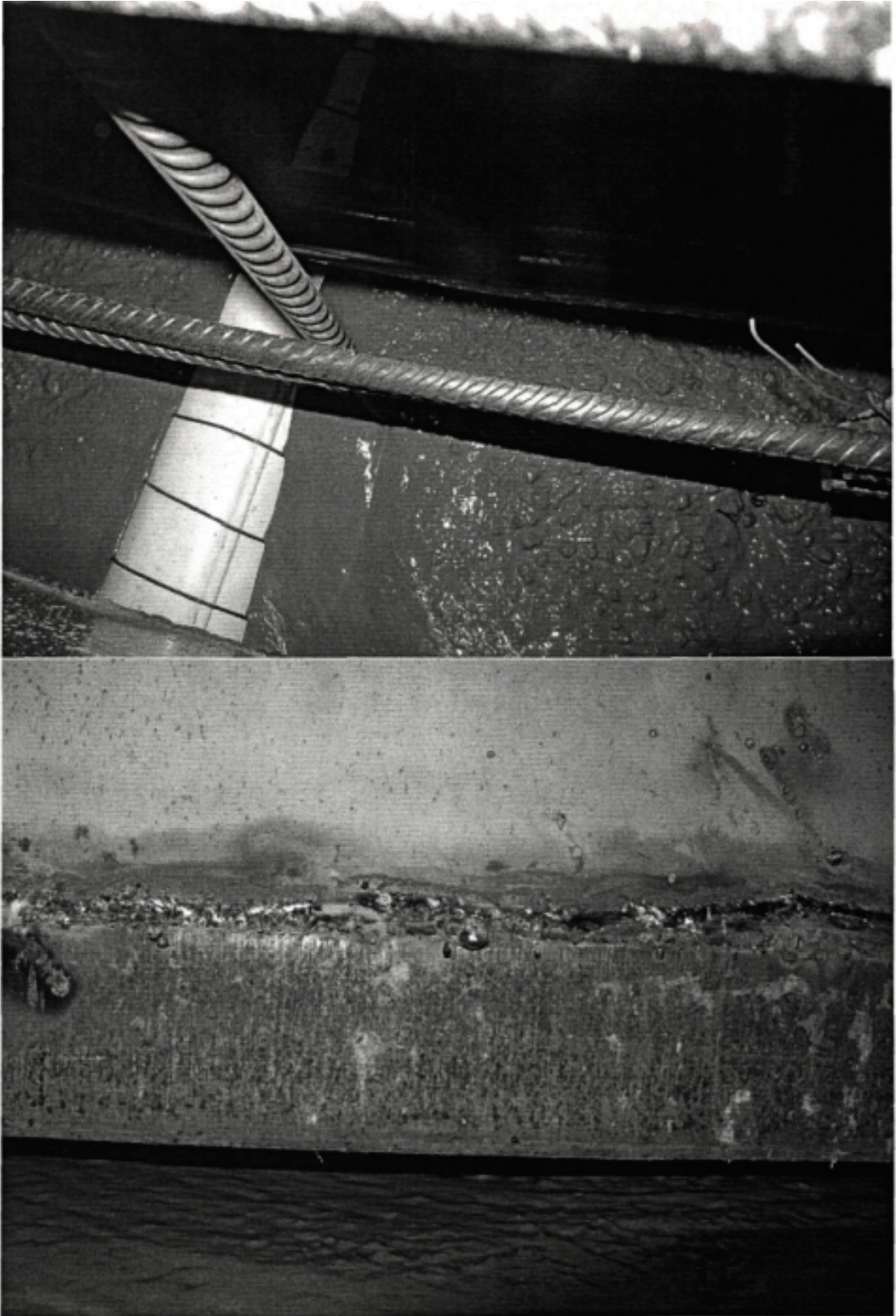


Рисунок 3.12 - Горизонтирование бетонної суміші після проходження рівня труб розігріву арматурної сітки

і зберігаючи, все ж, мінімальний ухил. Відповідно, суміш на початку з'явилася в контрольному отворі, що знаходиться в боковій опалубці в площині гирла бетоноводу. Після цього суміш з'явилася в прозорій трубці і піднялася на рівень близько 25мм (Рис. 3.13). Потім суміш стала з'являтися послідовно в контрольних отворах від кута до радіального зазору. Після появи бетонної суміші в цих отворах вони заглушались сталевими бобишками. Бетонна суміш подавалася по бетоноводу до тих пір, поки не досягла рівня колектора, порожнини на 190-200мм.



Рисунок 3.13 - Рівень бетонної суміші в полімерній прозорій трубці

Отримані результати експерименту підтверджують правильність вибору технології і параметрів бетонування порожнини під центральним днищем БР, і способів контролю заповнення.

Після завершення загальних випробувань макета обладнання, було проведено його демонтаж, включаючи поелементну розбирання. Для визначення якості стику бетону з днищем обладнання було демонтовано бічна металева опалубка (Рис. 3.15). Як видно на малюнку, поверхня бетону має тріщини, однак це пов'язано з температурними деформаціями (проводився нагрів бетону до 600 ° С). Що стосується стику бетону з металом, то видно, що цей стик не має яких-небудь зазорів (Рис. 3.17), що ще раз підтверджує правомірність застосування розробленої технології з відсутністю при цьому усадочних деформацій.

Крім цього виробничого експерименту ТОВ «ТЕХНОАРМ +» був проведена ще одна виробнича апробація, де автор був відповідальним виконавцем, із застосуванням нагнетательної технології. Акт про проведене бетонуванні і його характеристики, характеристики бетонної суміші, міцності забетонувати обсяг був схильний до тривалого впливу температури в 420 ° С. Після з масиву порожнини був проведений відбір кернів.

Після закінчення бетонування був проведений замір рівня бетонної суміші в контрольній трубці, який зберіг своє значення рівне 25мм (Рис. 3.13). Рівень суміші в радіальному зазорі також залишився незмінним. Все це відповідає заданим умовам, в цілому експеримент можна визнати успішним.

Побудована виконавча схема руху суміші в порожнині (Рис. 3.14).

Отримані результати експерименту підтверджують правильність вибору технології і параметрів бетонування порожнини під центральним днищем БР, і способів контролю заповнення.

Після завершення загальних випробувань макета обладнання, було проведено його демонтаж, включаючи поелементну розбирання. Для визначення якості стику бетону з днищем обладнання було демонтовано бічна металева опалубка (Рис. 3.15). Як видно на малюнку, поверхня бетону має тріщини, однак

це пов'язано з температурними деформаціями (проводився нагрів бетону до 600 °С). Що стосується стику бетону з металом, то видно, що цей стик не має яких-небудь зазорів (Рис. 3.17), що ще раз підтверджує правомірність застосування розробленої технології з відсутністю при цьому усадочних деформацій.

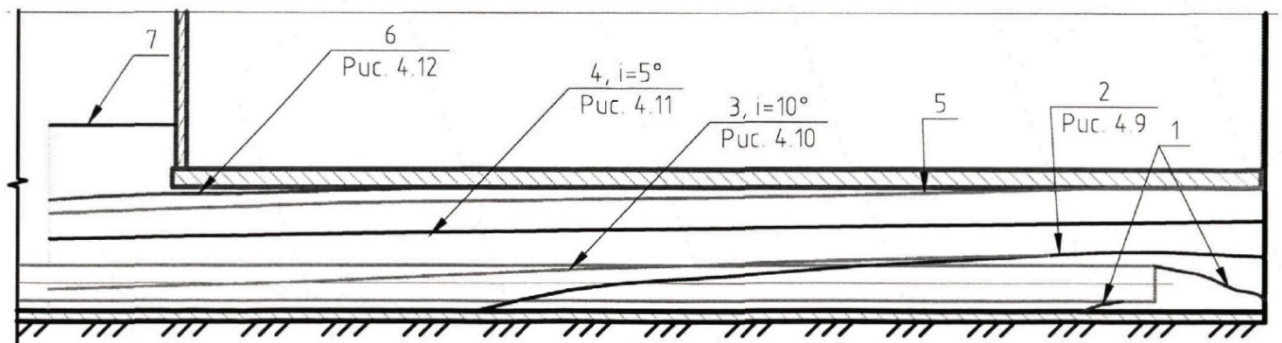


Рисунок 3.14 – Виконавча схема руху бетонної суміші у полості

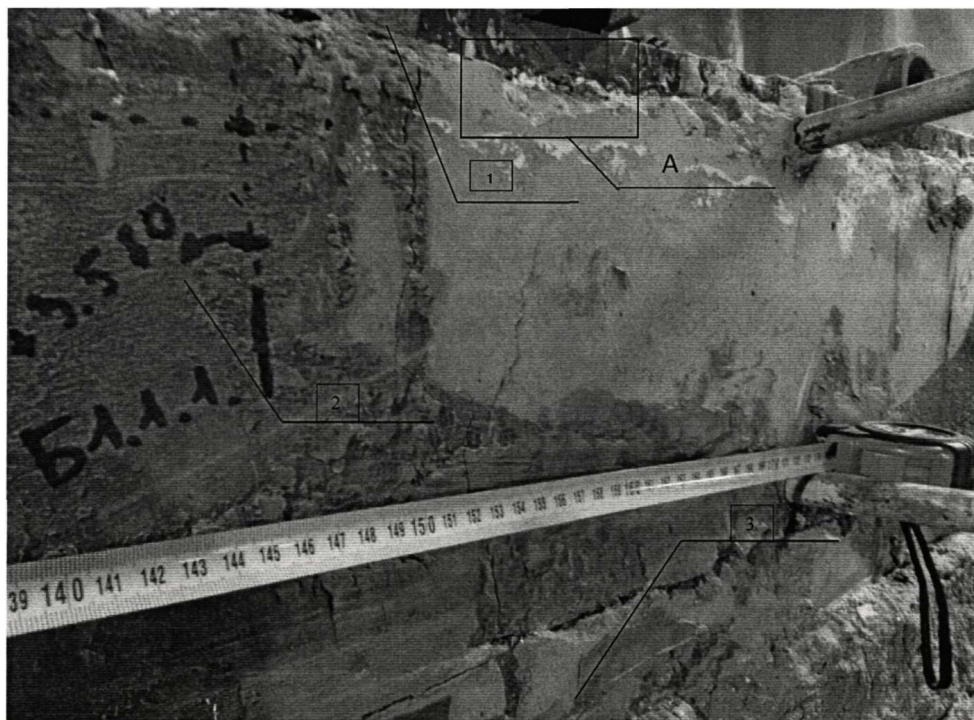


Рисунок 3.15 – Вид на стик бетону з днищем апарату після демонтажу (демонтажу бічної металевої опалубки): 1 - Корпус обладнання; 2 - Бетон після теплових випробувань; 3 - Опорна плита

3.3 Особливості технології бетонування порожнини під промисловим обладнанням

Бетонування порожнин під промисловими апаратами є дуже відповідальною операцією, від якої, в свою чергу, залежить довговічність і термін служби обладнання. Основною відмінністю бетонування порожнини від традиційного бетонування конструкцій в опалубку є три фактори:

1. Ускладнений контроль процесу поширення бетонної суміші і заповнення нею порожнини;
2. Неможливість достовірної та повної оцінки якості заповнення порожнини після закінчення робіт (до проведення демонтажу обладнання);
3. Відсутність можливості виправлення при невдалому виконанні робіт і наявності неприпустимих дефектів.

Всі ці фактори говорять про особливу відповідальність при виборі технології бетонування порожнини під обладнанням. Тим самим не так важливий техніко економічний ефект розробляються і що застосовуються в наслідку технологій при бетонуванні порожнин, як одержувані якісні характеристики.

Особливістю розробленого нагнетательного методу є те, що дана технологія гарантовано дозволяє якісно заповнювати важкодоступні простору за умови дотримання всіх регламентують раціональних параметрів. На відміну від раніше розроблених технологій, бетонування порожнин під промисловими апаратами має ряд кардинальних технологічних відмінностей:

1. Примусова подача бетонної суміші в порожнину;
2. Подача (точка поширення) суміші здійснюється безпосередньо в товщі самої порожнини;
3. Бетонування можна виробляти з декількох сторін;
4. Відсутність вібраційного впливу на суміш;

Слід зазначити, що розроблена технологія дозволяє виробляти бетонування не тільки самоушільненими сумішами, але і сумішами які виконують вимоги по перекачуванню бетононасосами ($OK > 8\text{см}$) при впливі на них додаткової вібрації. Вібрацію можна робити різними методами, наприклад віброрамкой з арматури, або глибинними вібраторами (шляхом кріплення їх до бетоноводом, в даному випадку геом. Розміри бетонируемой порожнини будуть обмежені). Однак застосовувати таку технологію можливо тільки після проведення модельних експериментів, внаслідок того, що закони поширення бетонної суміші будуть змінені.

За розробленою технологією представляється можливим виробляти бетонування з одного боку, а бетоноводи як замонолічують, так і виробляти їх вилучення з формувальної порожнини, не припиняючи при цьому подачі суміші. В цьому випадку необхідно розрахувати швидкість вилучення бетоноводу, яка залежить від швидкості витікання бетонної суміші. Технічно витяг бетоноводу можна виробляти множинами способами, наприклад за допомогою механічної тросової лебідки. У цьому випадку на бетоновод одягається обжимной хомут, до якого кріпиться трос від лебідки. Знаючи швидкість витікання, знаходиться необхідна швидкість переміщення троса лебідки, яка повинна бути на 15-20% менше швидкості витікання СУБС. В момент виведення бетоноводу з отвору в опалубці необхідно цей отвір миттєво перекрити засувкою. Модельні експерименти показали, що на кінцеву якість заповнення обсягу виїмка бетоноводов ніяк не впливає, при цьому зусилля, що витрачаються на їх виїмку, не значні з урахуванням діючої реактивної сили. При замонолічуванням бетоноводов необхідно враховувати наступний момент: фланець кріплення до шлангу бетононасоса повинен знаходитися вище рівня підірної стінки. Після закінчення подачі суміші, шланг від'єднується від бетоноводу, частина бетоноводу, що виходить за опалубку при необхідності зрізається при демонтажі опалубки.

Важливу роль на кінцеву якість підливи грає герметичність отвору в опалубці під бетоновод. Можливі такі варіанти герметизації: гумовий манжет, нанесення силіконового чи іншого герметизуючого складу, комплекс цих заходів та ін.

Особливо слід звернути увагу на способи контролю процесу заповнення порожнини. Можливо два випадки: коли в днище апарату влаштовуються контрольні отвори (діаметр визначається розміром заповнювача); пристрій отворів неможливо. У другому випадку можна застосувати наступну схему (Рис. 3.16).

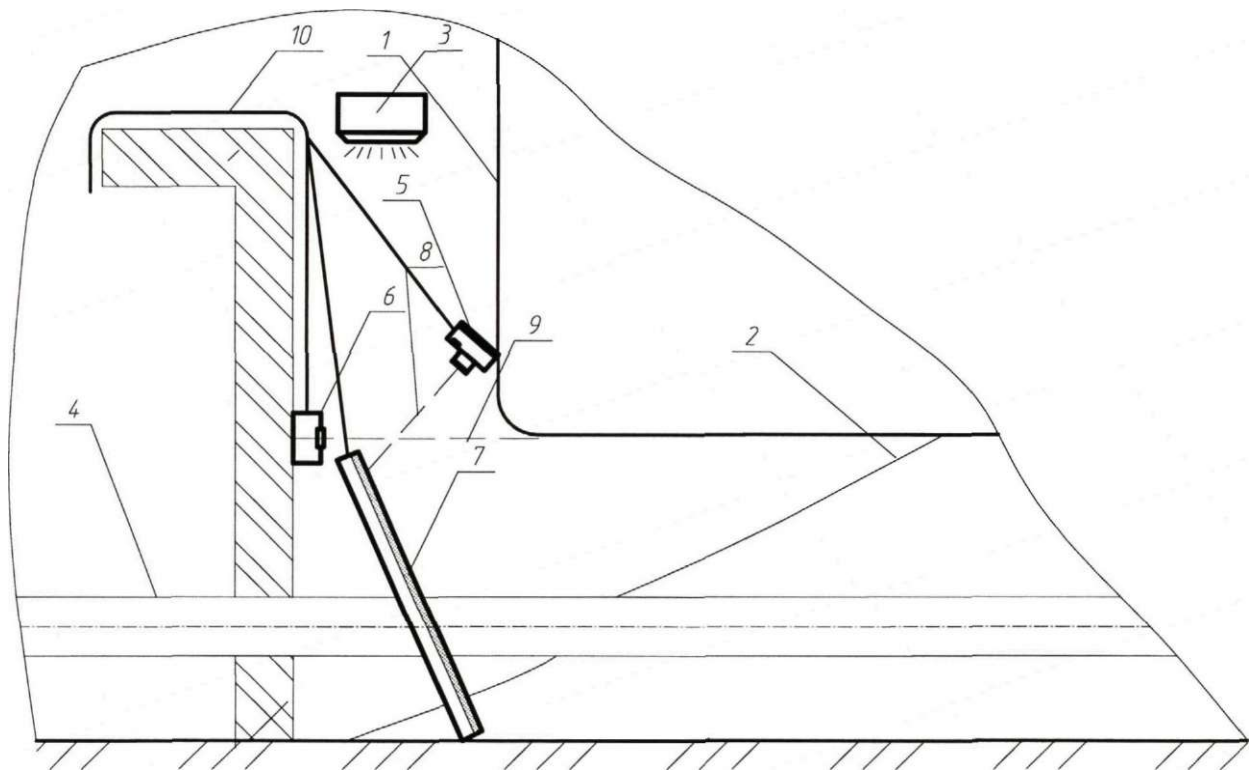


Рисунок 3.16 - Схема контролю заповнення порожнини: 1 - корпус обладнання; 2 - умовне поширення суміші; 3 - ліхтар; 4 - бетоновод; 5 - відеокамера; 6 - лазерний далекомір; 7 - дзеркало; 8 - проекція зйомки відеокамери на дзеркало; 9 - проекція далекоміра (по площині днища); 10 - кріпильний елемент

«Зчитувати» просування суміші, зміна показань має відбуватися поступово, це гарантує рівномірне заповнення площини примикання бетонної суміші з днищем. Дзеркало дозволяє спостерігати безпосередньо за ходом поширення суміші під час бетонування.

Відеозйомка здійснюється для фіксації за заповненням та підтвердження якісного заповнення порожнини, необхідного для підписання акту про приховані роботах.

Як будівельної суміші в розробленої технології застосовується Самоущільнюючий бетонна суміш, склад її може бути різний, автором рекомендований наступний склад бетонної суміші (таблиця 5.1), який володіє необхідними реологічними характеристиками, зокрема Розпливаючись зворотного конуса Р6.

Представлений склад відноситься до важкого бетону, однак на даний момент існує можливість перекачувати легкі СУБС, наприклад на керамзитовому гравії. Модель поширення суміші в порожнині буде відрізнятися від розглянутої в параграфі 2.3 з урахуванням того щільність суміші буде значно менше.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, а також результатів апробації була визначена область раціональних параметрів (таблиця 5.2) виробництва робіт по новій нагнетательной технології, при яких забезпечується висока якість заповнення порожнини при мінімальних затратах праці і високих темпах робіт.

Слід зазначити, що висота порожнини вказана з обліку застосування стандартних бетоноводов діаметром 100-125мм, однак при необхідності можна бетонувати порожнини з меншою висотою, застосовуючи бетоноводи еліпсоїдної форми, в цьому випадку поширення суміші буде відбуватися за тими ж законами, що і при застосуванні бетоноводов круглого перетину. Верхня межа

висоти вказано з урахуванням бетонування порожнини в один етап, при перевищенні значення в 350мм бетонування доцільно проводити в два етапи.

Бетоноводи в порожнині прокладаються на висоті від основи приблизно на висоту важеля замку, необхідного для під'єднання подачі води. У товщі порожнини бетоновод встановлюється на прокладки так, щоб організувався горизонт. Зазор між підставою і нижньою площиною бетоноводу необхідний для зменшення сил тертя в початковий момент подачі суміші.

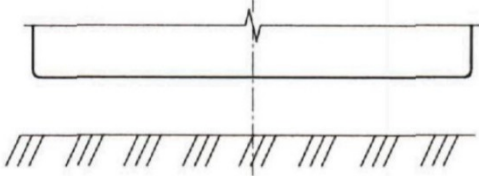
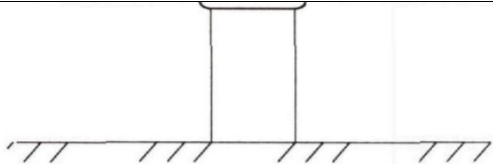
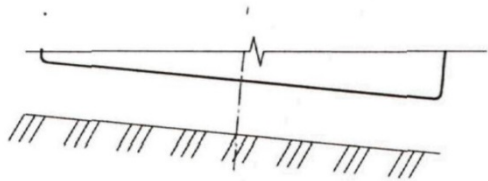
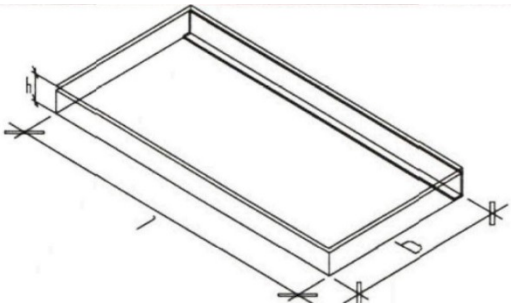
Оптимальна кількість бетоноводов (чотири) вибрано з умови необхідності і достатності, тобто для заповнення порожнин площею в плані 30-50м і має в своєму складі технологічні прокладки мінімально необхідно 4 подають органу, застосування більшої кількості бетоноводов недоцільно.

Особливості розробленої технології показані в розділі ПОС, розробленого АТ «Атомпроект», зведення корпусу БР, а також в інструкції з бетонування корпусу БР, до складу якої входить «Технологічний регламент з бетонування порожнин під промисловими апаратами методом нагнітання», що містить розрахунок продуктивності праці при впровадженні технології, який затверджений 26 ЦНДІ - філія ВАТ «31 ГПСС» і прийнятий до впровадження цієї організацією.

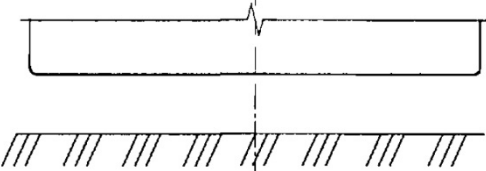
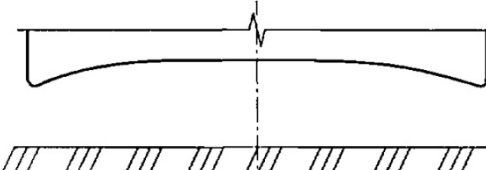
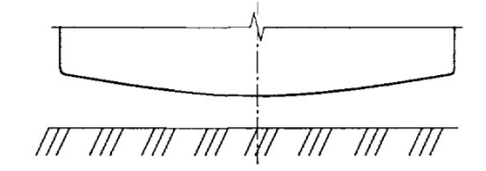
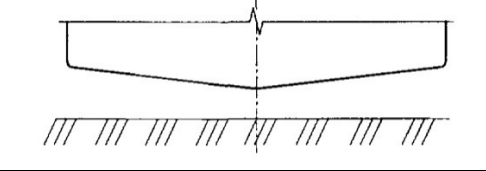
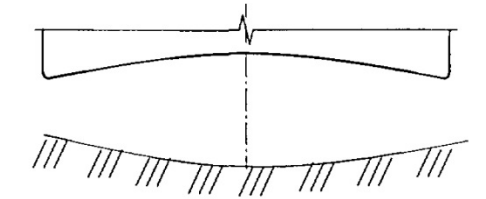
3.4 Рекомендації з бетонування різних конструктивних типів порожнин

На підставі проведених досліджень магістрантом розроблена наступна класифікація порожнин і рекомендації по їх бетонування, представлені в таблиці 3.3. Виявлені особливості були отримані автором, крім аналізу літературних джерел, при проведенні модельних експериментів по більшості наведених нижче порожнин.

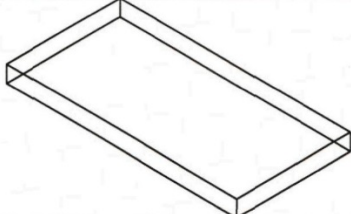
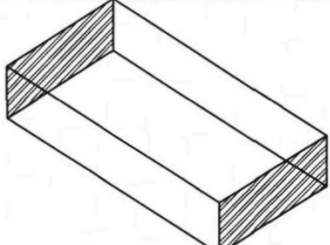
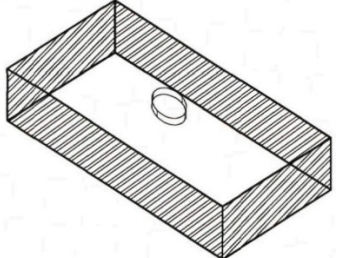
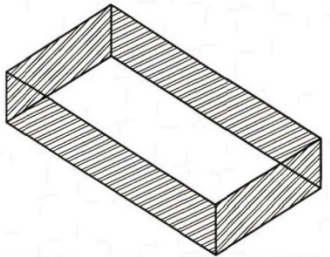
Таблиця 3.3 – Класифікація полостей

№	Характеристика полости	Вид полости	Схема полости	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
1	Орієнтація в просторі	1.1 горизонтальна		1-4,6	
		1.2 вертикальна		1-3,6	
		1.3 похила		1-3	Бетонування можна робити тільки з боку з найбільшою вертикальної відміткою
2	Співвідношення площі порожнини до її висоти	2.1 більш 500 2.2 100-500 2.3 100-20 2.4 менше 20		1-6	При великих площах і малій висоті порожнини виникають труднощі щодо її заповнення в зв'язку зі збільшенням опору просування бетонної суміші. Крім того можливо защемлення повітря при русі зустрічних потоків бетонної суміші, до такого результату може привести подача суміші з периферії з декількох сторін

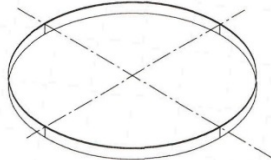
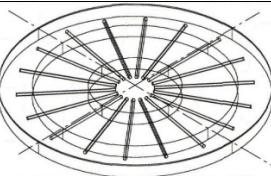
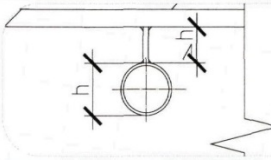
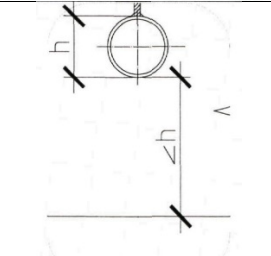
Продовження табл. 3.3

№	Характеристика порожнини	Вид порожнини	Схема порожнини	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
3	Форма поверхонь	3.1 паралельні		1-6	<p>Застосування апаратів з увігнутою поверхнею вкрай не бажано, тому що утруднене видалення повітря з верхньої частини порожнини і освітлення повітряної лінзи по центру днища. Бетонування в такому випадку можливо тільки з центру зверху, але пристрій технологічних отворів в днищі апаратів найчастіше неможливо. Опукла конусна форма поверхні днища апарату дозволяє провести монтаж обладнання шляхом занурення в бетонну суміш на вивірені опори</p>
		3.2 увігнута		3,5	
		3.3 опукла		6	
		3.4 конусная		6	
		3.5 взаємно опукло-увігнуті поверхні		3	

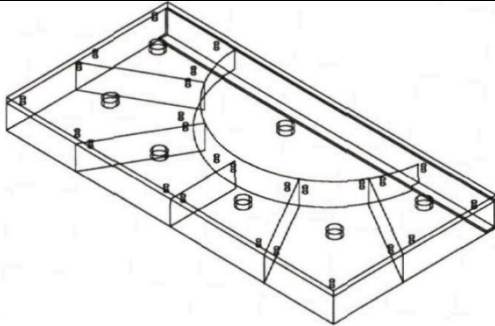
Продовження табл. 3.3

№	Характеристика порожнини	Вид порожнини	Схема порожнини	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
4	Доступ до порожнини	4.1 Відкрито по периметру		1-6	Пристрій опалубки по контуру відкритих сторін з зазором від обріза площині порожнини. Опалубку слід монтувати вище горизонтального рівня порожнини. Бетонування проводиться до моменту появи бетонної суміші вище горизонтальної площини порожнини по всьому контуру.
		4.2 Частково відкрито по периметру		1-6	
		4.3 Частково відкрито по верхній площині		3,5	Контроль при заповненні простору під плитою між вертикальними обмежувачами здійснюється за допомогою контрольних отворів
		4.4 закрито		5	В основному, обсяг таких порожнин досить малий. Утворюються вони в результаті дефектів при зведенні конструкцій. Для їх усунення можливий варіант з ін'єкціонування через малі отвори.

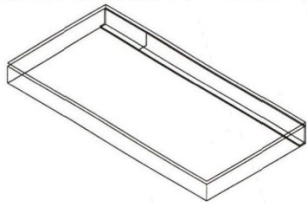
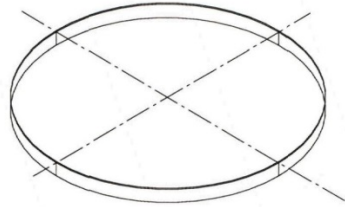

Продовження табл. 3.3

№	Характеристика порожнини	Вид порожнини	Схема порожнини	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
5	Наявність включень	5.1 без включень		1-6	Наявність включень суттєво ускладнюють процес заповнення порожнини бетонної сумішшю. У таких випадках доцільно перед прийняттям технології заповнення робити моделювання, щоб простежити процес заповнення простору бетонної сумішшю і підібрати оптимальні параметри бетонування: рухливість суміші; швидкість подачі бетонної суміші; спосіб подачі бетонної суміші і ін. Моделювання дозволить так само уточнити оптимальне розташування проходок (по висоті порожнини) для забезпечення надійного заповнення порожнини бетонної сумішшю
		5.2 трубчасті			
		5.3 складною конфігурації			
5a	Відстань по висоті включень від поверхні	5a.1 без зазору		2,3	
		5a.2 менше висоти включення			
		5a.3 більше висоти включення			

Продовження табл. 3.3

№	Характеристика порожнини	Вид порожнини	Схема порожнини	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
6	Якість поверхні підстав	6.1 гладке		1-6	
		6.2 шерехате		1-3,5,6	
		6.3 ребра, виступи і т.п.		2,3	Наявність ребер також як і включення значно ускладнюють бетонування порожнин. Рекомендації в даному випадку схожі з рекомендаціями при наявності в порожнині включень (див. П.5 даної таблиці)
6.1	Матеріал поверхні	металеве		1-6	В цілому матеріал поверхні незначно впливає на вибір застосовуваної технології бетонування.
	бетонна				
	дерев'яне				
	полімерне				

Продовження табл. 3.3

№	Характеристика порожнини	Вид порожнини	Схема порожнини	Можливий спосіб бетонування	Рекомендації
7	Конфігурація перетину в плані	7.1 прямокутне			Як і у випадку з матеріалом поверхні утворюють порожнину, конфігурація порожнини в плані мало впливає на застосовувану технологію бетонування. Найбільш сприятливою конфігурацією порожнини можна вважати круглий перетин, так як в ній відсутні кути, в яких може відбуватися зацемлення повітря.
		7.2 кругле		1-6	
		7.3 клинове		1-3,5,6	Наявність «клину» збільшує ймовірність утворення повітряних включень в бетонному масиві, тому необхідно застосовувати литі бетонні суміші здатні виключити зацемлення повітря.
		7.4 складної форми		2,3	
8	Об'єм	8.1 малий	<0.1	5	
		8.2 середній	0.1-0.2	1-6	
		8.3 великий	>2	1-3,6	

З наведеної вище класифікації порожнин видно, що на даний момент є значна поле для досліджень в області бетонування різних типів порожнин, виявлення їх особливостей і розробки технології заповнення порожнин будівельними сумішами. Також очевидно, що при розробці технології бетонування порожнин під різними промисловими апаратами необхідно проводити модельні експерименти, в зв'язку з тим, що моделювання дозволяє врахувати більшість факторів, що впливають на якісне заповнення простору бетонними і іншими будівельними сумішами.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто відомі способи бетонування порожнин в яких виявлені ряд недоліків, основними є обмеження порожнини по висоті, відсутність можливості бетонування порожнин мають в своєму складі технологічні прокладки.

2. Виявлено особливості бетонування нагнітальним способом за допомогою бетононасосів. Подача суміші повинна відбуватися рівномірно з малою швидкістю витікання з бетоноводу. Встановлено, що за своїми характеристиками оптимальним видом бетононасоса по режиму роботи є роторний.

3. Удосконалена нагнітальна технологія, яка відрізняється від існуючих тим, що бетононасосна техніка подає самоущільнену суміш в центр порожнини за допомогою бетоноводу. Передбачуваними перевагами представленої технології є зняття обмежень по висоті порожнини і можливість якісного заповнення обсягу при наявності технологічних включень в товщі бетонуємої порожнини, зменшення трудовитрат у порівнянні з існуючими способами.

4. Виявлено параметри, що впливають на якість заповнення порожнини, які дозволяють прогнозувати кінцевий результат даної технології бетонування порожнин.

5. Розроблено класифікацію конструктивних типів порожнин, в складі якої наведені рекомендації по їх бетонування.

1. Абрамов Л.И., Манаенкова Э.Ф. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: учеб. для вузов. Москва, 1990. 400 с.
2. Абелев М.Ю. Аварии фундаментов сооружений: учеб. пособие. Москва, 1975. 85 с.
3. Альбом усовершенствованных железобетонных конструкций для капитального ремонта жилых домов. Москва, 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. Москва: СИ, 1990. 376 с.
8. Бешелев С.Д., Гуревич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок: учеб. пособие. Москва: 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 Москва: 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. Москва: 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. Москва: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. Москва: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. Москва: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*. Москва: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. Москва: 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. Москва :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. Москва: 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. Москва :ВШ, 1987. 368 С.

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