

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ  
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

## Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень

(рівень вищої освіти)

на тему: Оцінка впливу технологічних властивостей самоущільнюючих  
бетонів на підвищення продуктивності робіт

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1920-пцб-з  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво  
(код і назва освітньої програми)

Ковбаса Р.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проф., д.е.н. Бондар О.А.

посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали

Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.

посада, вчене звання, науковий ступень, прізвище та ініціали

Запоріжжя

2021

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ  
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Кафедра Промислового та цивільного будівництва  
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
(другий (магістерський) рівень)  
Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ /ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Ковбаса Ростислав Андрійович  
(прізвище, ім'я по батькові)

Тема роботи (проекту) Оцінка впливу технологічних властивостей самоущільнюючих бетонів на підвищення продуктивності робіт.

Рівень роботи Бондар О.А., проф., д.е.н.  
(прізвище, ім'я по батькові, науковий ступень, вчене звання)

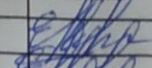

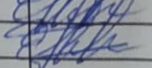

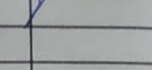

Затверджені наказом ЗНУ від "30" 06 2021 року № 975 - с

Строк подання студентом роботи 01 грудня 2021 р.

Вихідні дані до роботи конструктивні рішення опалубочних систем  
технологія виконання опалубочних та бетонних робіт, науково-технічна, навчальна,  
нормативна та періодична література

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
вступ, аналіз стану зведення монолітних конструкцій,  
технологічні властивості бетонних сумішей, технологія виконання монолітних конструкцій,  
оцінка технологічної ефективності використання самоущільнюючих бетонів

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
вступ, основні питання дослідження, проектування опалубочних систем,  
технологічні та будівельно-технологічні властивості бетонних сумішей.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Бондар О.А., д.е.н., проф.		
Розділ 2	Бондар О.А., д.е.н., проф.		
Розділ 3	Бондар О.А., д.е.н., проф.		

7. Дата видачі завдання

30 червня 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Аналіз існуючого стану в технології і організації зведення монолітних будівель	30.09.2021	
2.	Технологічні та будівельно-технологічні властивості бетону і забезпечення його якості	21.10.2021	
3.	Конструкційні бетони з високими технологічними і експлуатаційними властивостями	11.11.2021	
4.	Оформлення та підготовка до захисту	02.12.2021	

Студент

  
(підпис)

Керівник роботи/проекту

  
(підпис)

Нормоконтроль пройдено

  
(підпис)

Ковбаса Р.А.

(прізвище та ініціали)

Бондар О.А.

(прізвище та ініціали)

Данкевич Н.С.

(прізвище та ініціали)

Ковб

самоуціль

Квал

магістра за

керівник С

навчально-

будівництв

Викон

дослідженн

бетонних с

проведени

високофунк

модифікато

експлуатац

підвищенн

зроблено

будівництв

конструкці

процесу та

Ключ

пластифіку

Спис

1. Б

самоуціль

питання с

регіонів Ук

21 жовт. 20

## АНОТАЦІЯ

Ковбаса Р.А. Оцінка впливу технологічних властивостей самоущільнюючих бетонів на підвищення продуктивності робіт.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.М. Бондарь. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра промислово та цивільного будівництва, 2021.

Виконано аналіз розвитку монолітного будівництва, та проведено дослідження технологічних та будівельно-технологічних властивостей бетонних сумішей для зведення монолітних конструкцій. Зроблено аналіз проведених і обґрунтованих наукових досліджень **отримання високофункціональних бетонів на основі бетонних сумішей з комплексними модифікаторами нової генерації.** з високими технологічними і експлуатаційними властивостями і гарантованими показниками якості для підвищення технологічної забезпеченості проектних рішень. Акцент зроблено на склади самоущільнюючих бетонів, застосування яких при будівництві будівель і споруд забезпечує поліпшення якості зведених конструкцій, підвищення швидкості будівництва, зниження трудомісткості процесу та собівартості конструкцій.

Ключові слова: монолітне будівництва, фізико-механічні показники, пластифікуючі добавки, самоущільнювальний бетон.

Список публікацій магістранта:

1. Ковбаса Р.А. Оцінка впливу технологічних властивостей самоущільнюючих бетонів на підвищення продуктивності робіт. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : зб. тез доп. І всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 19-21 жовт. 2021р. Запоріжжя, 2021. С.376-378.

## ABSTRAKT

Kovbasa R.A. Estimation of influence of technological properties of self-compacting concrete on the works productivity growth.

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor O.A. Bondar. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Industrial and Civil Engineering, 2021.

The analysis of the development of monolithic construction is performed, and the research of technological and construction-technological properties of concrete mixtures for erection of monolithic structures is carried out. The analysis of the carried-out and substantiated scientific researches of reception of high-performance concretes on the basis of concrete mixes with complex modifiers of new generation is made. with high technological and operational properties and guaranteed quality indicators to increase the technological security of design solutions.

Keywords: monolithic construction, physical and mechanical parameters, plasticizing additives, self-compacting concrete.

List of postgraduate publications:

1. Ковбаса Р.А. Оцінка впливу технологічних властивостей самоущільнюючих бетонів на підвищення продуктивності робіт. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : зб. тез доп. І всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 19-21 жовт. 2021р. Запоріжжя, 2021. С.376-378.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ В ТЕХНОЛОГІЇ І ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВЕДЕННЯ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ.....	10
1.1 Монолітний залізобетон в будівництві: аналіз стану та перспективи розвитку.....	10
1.2 Основні напрями вдосконалення технології та організації будівництва будівель і споруд з монолітного залізобетону.....	15
1.2.1 Опалубочні системи та їх застосування в будівництві.....	15
1.2.2. Арматурні вироби для монолітних конструкцій.....	19
1.2.3 Аналіз українського ринку устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону.....	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО ЯКОСТІ.....	36
2.1 Основні типи та характеристики бетону.....	36
2.2 Добавки до бетонних сумішей.....	39
2.3 Легкобетонні суміші.....	46
2.4 Технологічні аспекти приготування бетонних сумішей.....	50
2.5 Технологічні аспекти транспортування, укладання і ущільнення бетонних сумішей.....	59
2.6 Витримування, догляд за бетоном та розпалублення.....	82
3 КОНСТРУКЦІЙНІ БЕТОНИ З ВИСОКИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	85
3.1 Литі бетонні суміші.....	86
3.2 Самоущільнювальні бетони.....	90
3.3 Застосування і вдосконалення нового покоління бетонів.....	97
3.4 Оцінка впливу технологічних властивостей на підвищення продуктивності виконання будівельних робіт.....	100
ВИСНОВКИ.....	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Світовий досвід будівництва показав, що різноманітність архітектурного вигляду будівель, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень забезпечується монолітним будівництвом, оскільки воно є мобільнішим, гнучкішим і економічним. Саме тому об'єми монолітного будівництва в більшості країн світу нині досягають 75...90%.

Усього лише кілька років тому монолітне будівництво в Україні і в інших країнах СНД виглядало, м'яко кажучи, експериментальним.

У дев'яності роки минулого століття, коли саме життя змусило переосмислити багато критеріїв, що встановилися, у будівельній індустрії, будівельники стали серйозно замислюватися про ті переваги, які несе в собі монолітне будівництво. На підставі величезного наявного наукового потенціалу і досвіду будівництва в передових зарубіжних країнах було правильно віддано перевагу монолітно-каркасному будівництву, причому у великих містах будівництву багатопверхових будівель. У таких будівлях, де балочна система в перекриттях просто не прийнятна, оскільки потрібні жорсткі монолітні диски перекриттів, які забезпечують необхідний перерозподіл напруги в каркасі від діючих навантажень і створюють жорсткі зв'язки у вертикальних елементах каркаса, що несуть, була прийнята монолітно-каркасна система з вертикальними не модульними елементами, об'єднаними плоскими монолітними перекриттями. Правильно обрана основа будівлі містить в собі масу можливих конструктивних варіантів елементів, що не несуть, і створює сприятливі умови для вирішення питань, пов'язаних з економією витрат матеріалів і енергоресурсів. Сумарна маса несучих елементів, нової архітектурно - конструктивно-технологічної системи будівництва багатопверхових монолітно - каркасних будівель у декілька разів менше, ніж у цегляних будівель такої ж поверховості або зі збірного залізобетону[6,11,17].

Комплекс робіт по зведенню монолітних залізобетонних конструкцій складається із спеціалізованих процесів, до яких відносяться: встановлення і монтаж опалубки, заготівля і установка арматури, приготування бетонної суміші, транспортування бетонної суміші, укладання і ущільнення бетонної суміші, догляд за бетоном, демонтаж опалубки, геодезичний контроль за бетонованими конструкціями, усунення дефектів конструкцій після демонтажу опалубки.

Арматурні роботи є найбільш трудомісткими і складають 40...50% загальних трудовитрат. Близько 70% робіт виконуються вручну безпосередньо на будмайданчиках. Документація робочих проектів будівель в монолітному виконанні містить велику кількість проектних рішень з неповторюваними арматурними виробами, що не уніфікуються.

Опалубні роботи займають друге місце по трудомісткості - до 35. 40%, а їх вартість доходить до 25%. До останнього часу в монолітному будівництві застосовувалася опалубка, що виготовляється в основному кустарним способом з великими витратами ручної праці. Головні причини високої трудомісткості опалубних робіт полягають в низькому технічному рівні, відсутності необхідної кількості надійної інвентарної опалубки, що багато обертається, недостатній якості окремих її елементів. Зусилля багатьох конструкторів, технологів і вчених спрямовані на розробку нові типи вузлів і елементів опалубки з точки зору їх надійності, зниження трудовитрат на монтаж і демонтаж опалубки.

Бетонні роботи вимагають ретельного виконання комплексу робіт в певній послідовності. Для отримання якісних залізобетонних конструкцій необхідно застосовувати бетонну суміш, що має властивості, що відповідають технології. Передусім - це легкоукладальність, рухливість і водоутримуюча здатність. Сьогодні будівлі за цією технологією зводять повільно, близько 3 поверхів в місяць. Українські будівельні організації доки мало досвідчені в технології будівництва монолітних будівель, фахівці за кордоном можуть зводити до 8 поверхів в місяць. В основному усі розробки в



області будівельного виробництва великих будівельних компаній і інститутів спрямовані на розвиток технології монолітного будівництва.

За останній час технології зведення монолітних будівель зазнали суттєвих змін. Активно застосовуються засоби механізації процесів транспортування і укладання бетонної суміші (бетононасоси і автобетонозмішувачі), сучасні опалубні системи. Набули широкого поширення високорухливі бетонні суміші, модифіковані різними добавками, в тому числі само ущільнювальних[16,19,20]. З'явилися засоби оперативного контролю температури і міцності витримування бетону монолітних конструкцій. Використання саме такої бетонної суміші яка здатна ущільнюватися без вібрації в конструкціях допоможе підвищити продуктивність виконання будівельних робіт.

**Метою магістерської роботи** є аналіз наукових досліджень в області розробки і застосування самоущільнювальних бетонів при будівництві будівель і споруд, що забезпечують скорочення термінів будівництва, підвищення продуктивності, якості та безпеки монолітних конструкцій і ефективності будівельних проектів.

**Мета роботи досягається рішенням наступних завдань :**

- 1) Провести аналіз стану та перспективи розвитку технології та організації зведення монолітних будівель які стають домінуючим методом в загальній структурі будівельного комплексу.
- 2) Сформулювати основні напрями вдосконалення технології та організації будівництва будівель і споруд з монолітного.
- 3) Визначити технологічні та будівельно-технологічні властивості бетонної суміші.
- 4) Проведено аналітичний огляд вітчизняних та зарубіжної досліджень по темі властивостей і особливостей самоущільнювального бетону.
- 5) Дослідити основні реологічні властивості бетонних сумішей і фізико-механічні властивості на отриманих складах бетонів.

б) Зробити аналітичну оцінку впливу технологічних властивостей на підвищення продуктивності виконання будівельних робіт.

**Об'єктом дослідження** є процеси і явища, що визначають закономірності формування структури і властивості самоущільнюючих бетонів для зведення будівель і споруд.

**Предмет дослідження** є самоущільнюючі бетонні суміші на основі модифікаторів нової генерації для зведення монолітних конструкцій.

**Наукова новизна:** проаналізовано вплив модифікуючих добавок, що забезпечують самоущільнення бетонної суміші, на фізико-механічні та технологічні властивості самоущільнювальних бетонів. Виконано теоретичне порівняння і оцінка технологічних та будівельно-технологічних властивостей самоущільнювальних бетонів при зведенні монолітних будівель.

**Практична цінність:** впровадження в практику використання високорухливих бетонів при будівництві об'єктів, що значно покращує технологічні характеристики конструкцій, підвищують продуктивність монолітних роботи. Застосовуючи високофункціональні бетон на основі модифікаторів нової генерації, ми отримуємо високотехнологічні і легкоукладальні бетонні суміші, що забезпечують у кінцевому підсумку економію трудовитрат і скорочення строку будівництва.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні положення роботи докладалися в 2021 році на I Всеукраїнської науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», (Запоріжжя, 2021р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, виводів, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 107 сторінок тексту, у тому числі 24 рисунків, 5 таблиць. Список використаних джерел містить 33 найменування.

# **1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ В ТЕХНОЛОГІЇ І ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВЕДЕННЯ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ**

## **1.1 Монолітний залізобетон в будівництві: аналіз стану та перспективи розвитку**

На сьогоднішній день найбільш перспективним зведенням будівель є існуючі технології монолітного будівництва будинків та споруд. Практика підтвердила техніко-економічні переваги будівництва будівель, окремих елементів і конструкцій будівель і споруд в монолітному і збірно-монолітному виконанні. Монолітне будівництво дозволяє реалізувати його ресурсозберігаючу можливість, підвищити якість і архітектурну виразність окремих будівель і комплексів. Аналіз показує, що у цілому ряді випадків монолітний залізобетон виявляється ефективнішим по витраті металу, сумарній трудомісткості робіт і приведеним витратам. Його застосування може бути раціональне в першу чергу в районах будівництва із складними геологічними умовами, при підвищеній сейсмічності, в місцях, де відсутні або недостатні потужності повнозбірного будівництва, має місце слабкий розвиток мережі доріг[12,13,17,].

Інтенсифікація капітального будівництва і технології монолітного будівництва як ланка будівельного виробництва проявляється в скороченні термінів і зниженні вартості об'єктів будівництва без зниження їх експлуатаційних властивостей при однакових виробничих ресурсах, виділених на ці цілі. При цьому забезпечується підвищення ефективності капітальних вкладень в сфері будівельного виробництва. Монолітне будівництво дозволяє оптимізувати конструктивні рішення будівель; перейти від розрізних схем, що вимагають значних матеріальних і трудових витрат на облаштування одномісних стиків, до нерозрізних просторових систем;

врахувати спільну роботу елементів і тим самим понизити їх перерізи; забезпечити високу надійність в роботі. Монолітне будівництво дозволяє суттєво підвищити експлуатаційні характеристики будівель. При цьому вирішуються проблеми стиків, підвищуються теплотехнічні і ізоляційні властивості, знижуються витрати на експлуатаційні витрати будівель і споруд.

Добитися одночасного ефекту в зниженні трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів без додаткових капітальних вкладень можливо шляхом чіткішої організації ведення монолітних робіт. Одним з організаційних прийомів, спрямованих на рішення даної проблеми, являється створення спеціалізованих підрозділів. Особлива роль при цьому відводиться розробці технологічної будівельної документації проекту виробництва монолітних робіт. При монолітному будівництві потрібно вузьку спеціалізацію процесів приготування, транспортування, укладання бетонної суміші, арматурних і опалубних робіт. Усі ланки цього ланцюга мають бути пов'язані за часом і мати єдину кінцеву мету - створення закінченого об'єкту. Спеціалізація виробництва дозволить більш повно використати засоби механізації робіт. Для раціонального використання технічних засобів потрібне їх об'єднання у будівельні машинні комплекси з підпорядкуванням спеціалізованим підрозділам, що дозволить вести монолітні роботи на рівні середньої продуктивності провідної машини. Одним з показників ефективності виробництва монолітних робіт є технологічність конструктивних рішень, методів ведення робіт, організаційно-технологічних прийомів. Сукупність показників технологічності визначає сумарні витрати на одиницю кінцевої продукції. Технологічність включає групу показників, комплексно що враховують усі сторони економічної доцільності зведення монолітних конструкцій і будівель. До них відносяться: раціональна величина трудомісткості на всіх стадіях зведення монолітних конструкцій (монтажу опалубної системи; установки арматурних виробів; доставки, подання і укладання бетонної суміші); матеріаломісткість конструкцій;

вартість витрат часу при виконанні технологічних монолітних процесів. Аналіз даних практичного досвіду вказує на низку невирішених запитань, що знижують ефективність монолітного будівництва[21,23]. До них відносяться:

- значна питома вага за вартістю і трудомісткістю опалубних робіт внаслідок різноманітності типів конструкцій і відсутності єдиної модульної системи;

- низька міра механізації арматурних робіт;

- значні трудові і матеріальні витрати на транспортування бетонної суміші на об'єкт.

Звідси витікають головні напрями по зниженню трудовитрат і підвищенню технологічності монолітного житлового будівництва, які у ряді випадків докорінно міняють склад технологічних процесів.

До них відносяться:

- 1) Зниження до мінімуму трудових витрат на транспортування, укладання і ущільнення бетонних сумішей за рахунок переходу на високорухливі і литі бетонні суміші з різними добавками. Доля ручної праці може бути понижена до мінімуму.

- 2) Використання армокаркасов повної готовності.

- 3) Використання інвентарної, швидкорознімної опалубної системи.

- 4) Застосування віброопалубок, об'ємно-блокових, катучих, пневматичних, що ковзають і інших спеціальних типів опалубних систем, що забезпечують з'єднання циклу подання, укладання і ущільнення бетонної суміші. Застосування незнімних опалубних систем, що дозволяють понизити в 2-3 рази трудовитрати на демонтаж елементів опалубки, і приведення їх в робочий стан.

- 5) Застосування сучасних спеціальних ущільнюючих систем, що поєднують процеси укладання, розрівнювання, обробку поверхні і що повністю виключають ручну працю.

Таким чином, разом з вдосконаленням проектних рішень монолітних конструкцій, підвищення ефективності їх застосування вимагає використання

комплексно-механізованої технології, що базується на сучасних досягненнях в цій області.

Було б помилкою вважати, що монолітне будівництво з'явилося недавно - сама технологія налічує без малого століття. Однак тільки в 20-30-ті роки ХХ століття стало можливим говорити про це як про помітне явище. Його поширенню сприяла можливість створення досить міцних конструкцій швидко і в умовах обмеженого обсягу. Найхарактерніший приклад - будівництво хмарочосів або різного роду підземних споруд. У нашій країні в період розквіту конструктивізму також був накопичений певний досвід монолітного будівництва. Та й гігантські будівництва соціалізму - це теж в першу чергу споруди з бетону. Причому в той час через недосконалість технологій такі об'єкти в повному розумінні слова були монолітними. Але і в той час результатом застосування такої технології було зниження матеріаломісткості будівництва та підвищення характеристик міцності і надійності споруд (особливо коли мова йшла про об'єкти значних обсягів).

Минуло не одне десятиліття, перш ніж технологія монолітного будівництва зробила крок вперед настільки, що можна стало всерйоз говорити про її економічні переваги для більшості регіонів нашої країни. Саме тому про ренесанс такої технології зведення будівель і споруд можна говорити тільки на прикладі останніх 10-15 років. Просуванню монолітного будівництва сприяло застосування спеціальних добавок які прискорюють тверднення бетону і зводять до мінімуму споживання води добавок і цементу, при гідратації яких виділяється велика кількість тепла. Використання цих порівняно недорогих матеріалів дозволило забезпечити тверднення бетону при температурах до  $-15\text{ C}$  і суттєво розширити терміни зведення будинку. Сильно змінило ситуацію на краще і застосування спеціальних опалубок, які не тільки дозволяють створити поверхні самих різних конфігурацій, а й можуть бути швидко змонтовані і демонтувати для переміщення на інші об'єкти. Все це дозволило суттєво знизити матеріальні витрати, а також підвищити продуктивність праці і темпи будівництва[20].

Варто підкреслити переваги монолітного будівництва перед іншими технологіями:

1) Східчасті структури в суцільній конструкції не мають значення. У збірній - всі структури мають розміри, які є кратними конкретному модулю, технологічному дизайну, що виконується на заводі. Швидко змінити форму устаткування неможливо. Тому архітектори і дизайнери зав'язані з певними типами і розмірами і, як наслідок, обмежені в прийнятті проектних рішень.

2) Монолітна конструкція легше на 15-20%, ніж тверда цегляна будівля. Значно зменшена товщина стін і стель. Завдяки спрощенню конструкції і ваги, зменшуються витрати на матеріали, відповідно, знижуються витрати на установку фундаментів.

3) Виробничий цикл переноситься на будівельний майданчик. Коли будуються збірні будинки, то будівельні вироби виробляються на заводі, доставляються на місце, монтуються. При виготовленні збірних конструкцій залишаються допуски на всіх етапах процесу, які призводять до додаткової роботи по обробці стиків. Якщо застосовується монолітна конструкція за встановленою схемою, будівництво будинків здійснюється за більш короткий час. Крім того, якісна робота усуває необхідність у додатковій обробці. Стіни і стелі майже готові до обробки.

4) Монолітна будівля забезпечує практично «безшовний» дизайн. Це підвищує продуктивність тепло- і звукоізоляції. У той же час конструкція міцніша.

Все вищесказане доводить, що завдяки своїм технологічним особливостям монолітні будинки набагато більш стійкі до впливу зовнішніх факторів і, отже, більш довговічні. Якщо встановлений проектувальний термін експлуатації сучасних панельних будинків становить 50 років, то побудованих за монолітною технологією - не менше 200 років. Вартість же монолітного житла вже цілком порівнянна з вартістю панельних будинків. Деяка різниця в ціні (якщо вона і є) обумовлена, як правило, зовнішніми властивостями фасаду. Чим складніше задум архітектора і проектувальника,

тим вище ціна. Зазначимо, що монолітні будинки із зовнішніми стінами з цегли дорожче «чисто монолітних». І, звичайно, на вартість будівництва впливає правильна організація робіт на будмайданчику і пов'язане з цим дотримання графіка фінансування.

## **1.2 Основні напрями вдосконалення технології та організації будівництва будівель і споруд з монолітного залізобетону**

### **1.2.1 Опалубочні системи та їх застосування в будівництві**

Світовий досвід будівництва показав, що розмаїтість архітектурного вигляду будинків, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень найбільше повно забезпечує монолітно-каркасна технологія зведення об'єктів. Саме тому обсяги монолітного будівництва в розвинених країнах миру в цей час досягають 55 - 80%. Частка монолітних будинків у загальному обсязі будівництва неухильно збільшується й в Україні. Сьогодні застосування монолітно-каркасна технології є пріоритетним при будівництві житлових і адміністративних будинків. Важлива роль при монолітному домобудівництві покладає на опалубні системи. На сьогоднішній день їхні асортименти на ринку досить різноманітний. Поряд з відносно простими видами будівельний комплекс активно застосовує сучасні наукомісткі зразки цієї продукції.

Опалубка необхідна для надання свіжоукладеній бетонній суміші певної форми і витримання бетону протягом тривалого часу, щоб він набув необхідної міцності. На перший погляд опалубка є допоміжною конструкцією, однак для отримання високоякісної бетонної поверхні, а також можливості її багаторазового використання вона повинна мати необхідну міцність, стійкість, недеформативність, бути здатною сприймати технологічні навантаження й тиск бетонної суміші під час її укладання та ущільнення.

Опалубка бетонних конструкцій суттєво впливає на вибір технології і вартість будівництва. З підвищенням вимог до якості бетонних поверхонь



зростає вартість опалубок, що безпосередньо визначається на вартості бетонної конструкції[23].

Під час виконання бетонних робіт увесь комплект опалубки, що становить собою сукупність формоутворювальних та підтримувальних елементів, об'єднують загальним терміном «опалубка», що забезпечує:

- точність розмірів монолітних конструкцій; швидкий монтаж і демонтаж; можливість укрупненого збирання й переналагодження в умовах будівельного майданчика;

- швидкознімність з'єднувальних елементів і можливість усунення в них експлуатаційних зазорів; технологічну гнучкість – модульність.

Опалубку поділяють за конструктивними ознаками, функціональним призначенням, матеріалом формоутворювальних елементів, рівнем забезпечення чіткості геометричних параметрів, вживаності за різної температури зовнішнього повітря й особливостей його впливу на бетон.

За конструктивними ознаками опалубку поділяють на розбірно-переставну дрібнощитову, розбірно-переставну великощитову, підйимально-переставну, блокову, об'ємно-переставну, ковзну, горизонтально-переміщувану (котюча, тунельна), пневматичну, незнімну.

Опалубку класифікують за функціональним призначенням залежно від різновиду бетонованих конструкцій. У цьому разі розрізняють опалубку для отримання вертикальних поверхонь (зокрема стін), для горизонтальних і похилих поверхонь, для утворення криволінійних поверхонь (пневматична), для одночасного бетонування стін і перекриттів, кімнат і цілих квартир.

За матеріалами формоутворювальних елементів опалубку поділяють на металеву, дерев'яну, фанерну, пластмасову, незнімну (пінополістирол, фіброліт).

За ступенем застосовування при різних температурах зовнішнього повітря і особливостями впливу на бетон опалубку поділяють на не утеплену, зігрівальну (термоактивну).

Використання сучасних опалубних систем для бетонного будівництва значно покращує процес. Час і якість зведення конструкцій в значній мірі залежить від опалубки[21,23].

У цей час на українському ринку представлений різноманітні асортименти різних систем опалубки для монолітного будівництва. Фахівці відзначають, що значну частину вітчизняного ринку опалубних систем займає продукція закордонних європейських виробників. З найбільш відомих закордонних виробників опалубних систем, представлених на ринку, можна виділити продукцію таких компаній, як: Paschal, Peri, Hunnebeck, NOESchaltechnik, Meva (Німеччина), Doxa (Австрія), SGB (Великобританія), Utinor (Франція), ULMA (Іспанія), Pilosio (Італія), Aluma Systems (Канада), AltradMostostal, Baumann-Mostostal (Польща). Представлена на українському ринку й продукція російських виробників опалубних систем - «Крамосинженеринг» і «Агрисовгаз». З вітчизняних виробників опалубних систем найбільш широкую популярність одержали: ТОВ «Завод «Павлоградспецмаш» (Павлоград, Дніпропетровська обл.), ТОВ «Гипром», ТОВ «РОБУД» (Київ), ТОВ «Моноліт Плюс» (Сімферополь), ТОВ Фабрика «Варіант» (Харків)[23].



Рисунок 1.1 - Опалубна система «Paschal»

Австрійсько-німецька фірма «Doxa» є одним з найбільших світових виробників опалубки. В асортименті продукції, що випускається підприємством продукції - самі різні види опалубки: стінова, для

перекрыттів, підйомно-переставні та багато інших. Розробка і виготовлення всіх деталей опалубки однією компанією підтвержені міжнародним сертифікатом якості ISO 9001:2018.



Рисунок 1.2 – Опалубна система «Doka»

Оригінальною технологією зведення будівель і споруд за допомогою пінополістирольних блоків незнімної опалубки є так звана будівельна система ААБ. Дана система, винайдена в 80-х роках у Канаді, являє собою незнімну опалубку у вигляді блоків з пінополістиролу з впресованими в процесі виготовлення перемичками. Простим укладанням один на одного вісім рядів блоків утворюють один поверх майбутньої будівлі, в пази перемичок закладається арматура - поверх готовий для заливки бетоном[23].

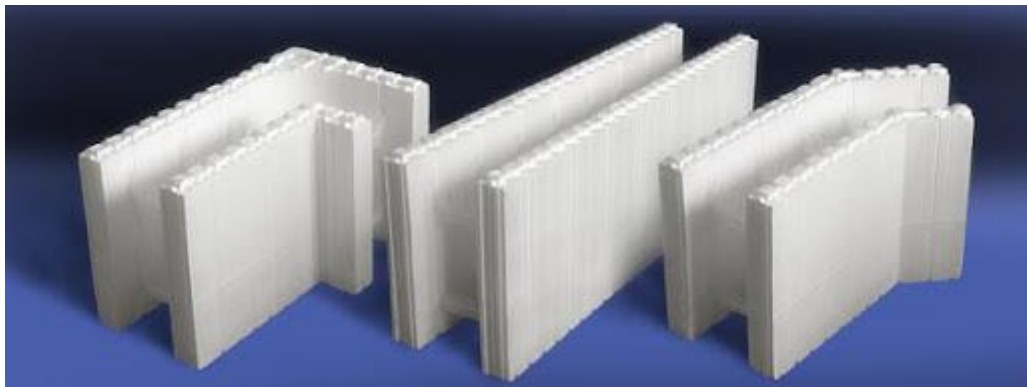


Рисунок 1.3 – Будівельна система ААБ (незнімна опалубка)

При виборі будівельної опалубки важливу роль грають технічні параметри виробів. До них відноситься:

- тиск бетонної суміші (для «легкої» опалубки припустимий тиск бетонної суміші становить 50- 60 кН/м<sup>2</sup>, для «середньої» і «важкої опалубки» - 80кН/м<sup>2</sup> і більше);
- довговічність або іншими слова – повторність використання, кількість циклів використання щитів опалубки (у середньому значення цього показника становить для фанерних щитів до 100 циклів, для сталевих каркаса – 1000 циклів);
- термін служби або експлуатації (для сталевих рамних каркасів, сталевих стійок цей строк становить 1500 років і більше, для дерев'яної балки - 15 року);
- ергономічні показники - технологічність, зручність монтажу/демонтажу (визначаються конструкторськими рішеннями).

Крім цього враховуються, природно, вартісні показники опалубних систем, наявність їх на складі й строки поставки опалубки. В останні роки замовники звертають увагу на наявність орендного фонду.

Використання різноманітних сучасних опалубних систем уможливорює підвищення технологічності будівельного процесу. До того ж терміни будівництва і якість цього процесу безпосередньо залежать від якості використовуваної опалубки. Отже, вкрай важливо, щоб опалубні системи були надійними, міцними й довговічними, а також мали хороші механічні характеристики. Вони різняться за призначенням, і цим обумовлюються вимоги, що висуваються до прогину, навантажень і точності їхнього виготовлення.

### **1.2.2. Арматурні вироби для монолітних конструкцій**

Особливості монолітного залізобетону значною мірою визначає раціональне армування. Обираючи різновид арматури для монолітних конструкцій, беруть до уваги особливості роботи цих конструкцій, їхні розміри та конфігурацію, а також технології і спосіб організації робіт щодо

зведення монолітних будівель і споруд. Призначаючи методи армування враховують технологічність влаштування, що визначає трудомісткість, обсяги немеханізованої праці, інтенсивність виконання робіт.

У складі комплексного процесу виконання конструктивних елементів будівлі частка арматурних робіт становить 17...30 % від вартості і 15...25 % від трудомісткості. Аналіз витрат праці на арматурні роботи свідчить про те, що до 15 % загальної трудомісткості робіт припадає на операції по збиранню і зварюванню арматури, із них приблизно 60 % робіт виконується вручну. Арматура залізобетонних конструкцій класифікується за призначенням, за умовами роботи та за способом виготовлення[21,23].

Раніше, арматура автоматично асоціювалася з залізом. Зараз же, для виготовлення арматури, застосовується пластик з додаванням різних композитних матеріалів.

Сталева арматура виготовляється зі сплаву заліза і вуглецю. Сталь сама по собі, дуже міцний і надійний матеріал. Її властивості залежать від того, яким способом було виконано виробництво. Навіть при високих навантаженнях, деформація стали відсутній. У роботі такої матеріал не складний, під впливом необхідної сили, легко зможе прийняти потрібну форму.

На сьогодні більшу популярність набирає композитна арматура, вона виготовляється на основі скловолокна, з додаванням різних композитів, смол. Здавалося б пластик не міцний, але не тут то було, часом добавки роблять його міцніше сталі. Головною перевагою такої арматури є те, що вона не підвладна до появи корозії [22,25,].

Види композитної арматури:

Склопластикова арматура (СПА) - складається з смоли і скловолокна. Вважається найпоширенішою арматурою після залізничної.

Склоармована арматура - виготовляється зі скловолокна і термопластичного полімеру. За своїми особливостями, має незначну відміну від склопластикової арматури.

Базальтопластиковая арматура (АБП) - виготовляється на основі волокон базальту і смоли. Має насичений і характерний чорний колір. Така арматура, стійка до агресивного хімічного середовища. Також, вона міцніше більшості інших видів. Її застосовують для окремих видів складного промислового будівництва, так як вона в рази дорожче.

Вуглепластиковая арматура – виготовляється з вуглецевих волокон, що забезпечує матеріалу високу пружність. Тому така арматура має високу вартість.



Рисунок 1.4 – Композитна арматура

Як і будь-який будівельний матеріал, поряд з незаперечними перевагами композитна арматура не позбавлена і деяких недоліків, які необхідно враховувати при проектуванні армованих бетонних конструкцій.

До мінусів композитної арматури відносять[22,25,] :

- низький модуль пружності матеріалу. Даний параметр в порівнянні зі сталлю менше в 4 рази, що негативно позначається при роботі композитної арматури на розтяг.

- крихкість і непластичною. Зміна форми стержня неможливо без нагріву, що створює труднощі при виготовленні монтажних петель і заставних деталей.

- низька стійкість до впливу високих температур. На відміну від сталі, композитний матеріал втрачає свої властивості міцності вже при температурах порядку 150-300 градусів, в залежності від виду

використовуваних у виробництві волокон (склопластик або базальтопластик).

Таблиця 1.1 - Порівняння композитної та металевої арматури [25].

Технічні особливості	Композитна арматура (склопластикова)	Сталева арматура
Матеріал	Смоли, скловолокно	Сталь 35ГС, 25Г2С та інше
Довжина	Будь-яка довжина під замовлення	6-12 метрів
Екологічність	Екологічна	Екологічна
Довговічність	не менш 80 років	за нормами експлуатації
Електропровідність	немає	є
Теплопровідність	немає	є
Щільність, т/м <sup>3</sup>	1,9	7
Міцність при розтягуванні	$\sigma_{в} = 800$ МПа	$\sigma_{в} = 360$ МПа
Пружність	11 000 - 65 000 (в залежності від типу арматури)	200 000
Стійкість до корозії	Нержавіючий матеріал	Підвладна корозії
Вартість, 1п.м.	4,10грн. – 51,8 грн.	7грн. - 95грн.
Заміна арматури за фізико-механічними властивостями (крім величини подовження під навантаженням)	5Вр-1 проволока 6А-III 8А-III 10А-III 12А-III 14А-III 16А-III	- АСП-4, АБП-4 АСП-6, АБП-6 АСП-8, АБП-8 АСП-8, АБП-8 АСП-10, АБП-10 АСП-12, АБП-12
Заміна арматури за величиною подовження під навантаженням (однакове подовження під однаковим навантаженням, в межах пружної деформації сталевої арматури)	6А-III 8А-III 10А-III 12А-III 14А-III 16А-III	АСП-12 АСП-16 АСП-20 - - -

Завдяки своїм експлуатаційним характеристикам композитну арматуру можливо застосовувати в широкому спектрі конструкцій будівлі і об'єктів інфраструктури, а так само при виконанні ремонтних робіт. Такий матеріал використовують:

- в конструкціях, що зазнають вплив агресивного середовища: фундаментах будівель, конструктивних елементах будівель хімічної і харчової промисловості, сільськогосподарських об'єктах;
- для зміцнення основ під будівельними конструкціями різного призначення;
- в малоповерховому приватному житловому будівництві;
- в дорожньому будівництві: як армування дорожнього полотна, при спорудженні та зміцненні укосів насипів, для зміцнення змішаних елементів дороги (наприклад, асфальтобетон - рейки), армування проїжджої частини прогонових будівель (мостів);
- при ремонті залізобетонних конструкцій в разі неможливості влаштування шару розчину значної товщини;
- для виготовлення поперечних зв'язків в будівель із стінами, зведеними з різного виду матеріалів (газосиликатні блоки + цеглина, цегла + бетон і т.п.);
- для шаруватої кладки з дрібноштучних елементів з гнучкими зв'язками;
- конструкції житлових, цивільних і промислових будівель, при виготовленні яких не потрібно попереднє напруження арматури;
- в елементах конструкцій, в процесі експлуатації яких можлива електрохімічна корозія під впливом блукаючих струмів;
- в гірських виробках для зміцнення ґрунту при проходці тунелів.

Армування композитними матеріалами не доставить ніяких складнощів. Як і при роботі зі сталевими прутами, діаметр стрижнів і розмір осередків при укладанні композитної арматури визначається розрахунком виходячи з необхідної несучої здатності конструкції. Арматурні стержні в разі заливки монолітних конструкцій розміщуються в опалубці з певним кроком і пов'язуються між собою в'язальним дротом або звичайними електротехнічними пластиковими хомутами потрібної довжини.



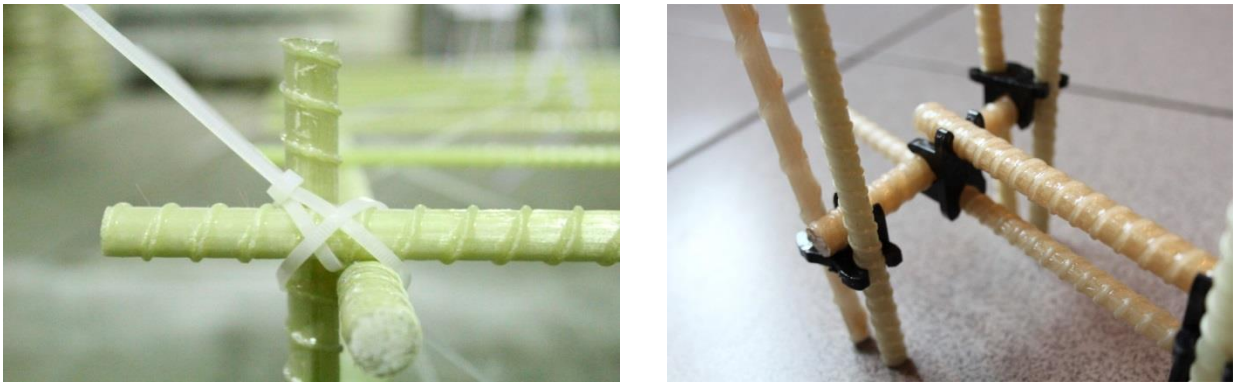


Рисунок 1.5 – З'єднання композитної арматури

Розрахунок композитної арматури проводиться за тими ж принципами, що і для металеві. За тим лише винятком, що отримані при розрахунку металеві прутки замінюють прутами з композитної арматури іншого діаметру з аналогічними характеристиками міцності[22,25]. .

Використання композитної арматури в будівництві дозволяє ефективно заощаджувати кошти не тільки за рахунок низької вартості в порівнянні зі сталевими прутами. З огляду на свою низьку масу вона істотно знижує вагу конструкції, що в свою чергу дозволяє зменшити габаритні розміри фундаментів і інших несучих елементів, економлячи при цьому витрати на бетоні.

### **1.2.3 Аналіз українського ринку устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону**

Устаткування для бетонних заводів. За словами фахівців, сьогодні в Україні товарний бетон виготовляють:

– на будівельному майданчику: виготовлюють в малих кількостях за допомогою простих бетономішалок (в цьому випадку якість товарного бетону не гарантована);

– на заводах ЗБВ і ЗБК: виготовляють у відносно невеликих об'ємах на пристосованих для цього бетонозмішувальному устаткуванні (стабільність якості товарного бетону не постійна із-за застарілого устаткування);

– на спеціальних бетонних заводах, побудованих тільки для випуску готових будівельних сумішей в промислових об'ємах (стабільна якість товарного бетону, завдяки сучасним техніці і технології).

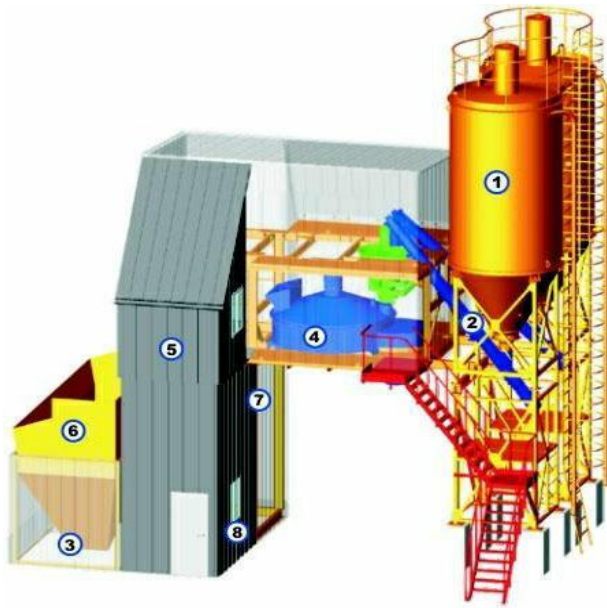
Застосування технології монолітного будівництва залежить від наявності підприємств, що виготовляють товарний бетон, саме в промислових об'ємах. Для цього на українському ринку реалізуються стаціонарні і пересувні бетонні заводи як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Провідним українським виробником бетонозмішувального устаткування фахівці називають ЧП «KARMRL» (м. Хмельницький).

Нині це підприємство виготовляє різні типи бетонозмішувальних установок продуктивністю від 15 до 135 м<sup>3</sup>/ч (з можливістю оснащення комп'ютерною системою управління).

Житомирське АОЗТ «Будмаш» спеціалізується на випуску бетонорозчінозмішувачах і ліній по виробництву бетону продуктивністю від 15 до 40 м<sup>3</sup>/ч. Зовсім нещодавно на ринку з'явився новий виробник - ТОВ «Станкінпром» (Харків). У його номенклатурі - бетонорозчінозмішувальні установки продуктивністю 20, 40 і 80 м<sup>3</sup>/ч.

В даний час фахівці «Станкінпрому» розробили мобільний бетонний завод MOBILUX. Мобільні бетонні заводи серії Mobilux мають всі переваги стаціонарних бетонних заводів УБРС. Головною відмінною рисою заводів Mobilux є те, що збираються вони на місці протягом трьох днів. Конструкція Mobilux дозволяє максимально скоротити час доставки заводу на будівельний майданчик. Габарити всіх компонентів бетонного заводу Mobilux дозволяють розмістити його на звичайному «довгомір», його нескладно занурити і він легко перевозиться туди, де необхідно виробництво високоякісно бетону та розчину[24].



1. Склад цементу.
2. Живильники шнекові.
3. Обладнання для зважування інертних речовин.
4. Блок змішувальний.
5. Кабіна оператора.
6. Блок бункерів для піску і щебеню.
7. Підйомник скіповий.
8. Блок хімічних домішок

Рисунок 1.6 – Структура мобільного бетонного заводу

Також металеві конструкції для бетонозмішувальних установок виготовляють в Києві, Запоріжжі, Дніпропетровську і інших містах України.

Активно освоюють український ринок будівельних матеріалів і зарубіжні виробники.

На сьогодні на ринку України представлений широкий спектр устаткування для виробництва бетону. Слід зазначити, що зарубіжні виробники устаткування приділяють особливу увагу різноманітним конструктивним особливостям. Завдяки такому підходу, сьогодні замовник може вибрати бетонний завод, не лише виходячи з його вартості і якості виконання основних вузлів, але і залежно від передбачуваних умов роботи і особливостей наявного майданчика. Для цього існують різні моделі, у тому числі і бетонозмішувальне устаткування на автомобільному шасі. Разом з цим інженерні рішення, які закладені в устаткування зарубіжних виробників, дозволяють підібрати замовникові індивідуальний і оптимальний проект заводу для виготовлення товарного бетону.

Значну частину українського ринку займає устаткування німецьких виробників. Українському споживачеві знайома компанія ТОВ «ТЕКА ГМБХ». Устаткування цього виробника встановлене в Києві, Харкові,

Львові. Характерна особливість компанії - її унікальні інженерні рішення для кожного конкретного заводу, модернізації, що включають можливість, і удосконалення діючого виробництва.

Сьогодні ця компанія пропонує установки TRANSMIX і MIXOMAT з радіальним або рядовим способом завантаження інертних матеріалів, скіповим або транспортним поданням, продуктивністю від 20 до 120 м<sup>3</sup>/ч.

При цьому модельний ряд представлений трьома типами змішувачів: тарілчастий змішувач застосовується для виготовлення товарного бетону; двохвальний змішувач використовують, коли потрібні великі масиви жорсткого бетону при будівництві аеродромів, мостів і інших споруд; планетарний змішувач застосовується при виготовленні дрібноштучних бетонних виробів (плитка, стінні блоки, бордюрні камені).

Вітчизняні забудовники знають і устаткування компанії LIEBHERR - Mischtechnik GmbH, яка виготовляє і реалізує широкий модельний ряд устаткування для виробництва товарного бетону.

Реалізується на українському ринку устаткування компанії ELBA - WERK Maschinen - Gesellschaft mbH (Німеччина). Сьогодні цей виробник виготовляє компактні міксцентри (EMC/ELMC), супермобільні установки (ESM), стаціонарні бетонні заводи модульного (EBC, EMA) і вежі типів (EMT).

Окрім бетонних заводів фірма ELBA виготовляє модулі бетонозмішувальних установок, які дозволяють здійснити реконструкцію і модернізацію вже існуючих застарілих бетонних заводів різних виробників. Установка нових модулів не вимагає таких капіталовкладень, як купівля нового бетонного заводу, підвищує продуктивність і оптимізує виробництво. При цьому проектування і комплектація кожного модуля робиться після аналізу діючого виробництва замовника.

Виробнича програма компанії Schwing Stetter (Німеччина) включає компактні, горизонтальні, вертикальні і мобільні бетонозмішувальні установки. Горизонтальні заводи серії H з виходом суміші від 55 до 125 м<sup>3</sup>/ч

поставляються із зіркоподібними, рядними складами або вертикальними бункерами, тарілчастими або двохвальними змішувачами. Найбільше поширення отримав завод Н1 продуктивністю  $56 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а з нового покоління цієї серії - завод HN 2,25 з двохвальним змішувачем місткістю 2250 л фірми BHS.

На українському ринку широко представлено устаткування італійських виробників. Компанія Officine PICCINI виготовляє бетонні заводи продуктивністю 30 -  $180 \text{ м}^3/\text{ч}$  і приоб'єктні бетонозмішувальні установки ( $5\text{-}20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Реалізується на вітчизняному ринку і устаткування для виробництва товарного бетону компанії O.CUOGHI. Зараз цей виробник здатний запропонувати рішення будь-якої складності і для будь-якої компанії, будь то будівельна організація або компанія, що займається реалізацією будівельних матеріалів. З урахуванням цього на український ринок поставляється як устаткування, невеликій продуктивності від  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  - мобільні бетонні заводи на шасі, так і стаціонарні бетонні заводи продуктивністю від 20 до  $270 \text{ м}^3/\text{ч}$ , найрізноманітнішій комплектації і модифікації.

Представлена на ринку і продукція компанії CIFA. Цей виробник пропонує декілька технічних рішень, пов'язаних з питаннями виготовлення бетонної суміші і виробництва бетону з великою фракцією заповнювача.

Заявив про свою зацікавленість вийти на український ринок і ще один італійський виробник устаткування для приготування товарного бетону - компанія IME S.r.L. Ця фірма має багаторічний досвід виробництва і спеціалізується на виробництві приоб'єктних бетонозмішувальних установок ( $5\text{-}20 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), стаціонарних і мобільних бетонорозчінозмішувальних заводів ( $20$  до  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Останнім часом на ринку України з'явилося і устаткування компанії ELKON A.S.(Туреччина) - стаціонарні і мобільні бетонорозчінозмішувальні заводи продуктивністю від 16 до  $120 \text{ м}^3$  бетону і розчину в годину і компанії SANY (Китай) - продуктивністю 90 і  $120 \text{ м}^3$  в годину.

Якість бетону в спорудах залежить не лише від якості устаткування, яке використовується для виробництва цього будівельного матеріалу. На усіх етапах виробництва бетонних робіт є безліч чинників, які можуть впливати на якість бетону. Одна з них - це своєчасне укладання бетонної суміші в конструкцію. Пов'язано це з тим, що «термін життя» якості суміші всього 90-120 хвилин. І щоб не вийти за межі цього тимчасового інтервалу необхідно мати парк сучасних автобетонозмішувачів (АБЗ) [23].

Автобетонозмішувачі. На ринку України однаковим попитом користується техніка як вітчизняних, так і зарубіжних марок. Серед українських виробників можна виділити такі заводи як ХК «АвтоКрАЗ» (Кременчук) бренд TIGARBO автобетонозмішувач з корисним об'ємом барабана 7 і 9 м<sup>3</sup> на базі автошасі КрАЗ.

Активно освоюють український ринок і зарубіжні виробники. Досить великим виробником автобетонозмішувачів є німецька компанія LIEBHERR - Mischtechnik GmbH. Сьогодні цей виробник виготовляє вісім типорозмірних засобів для транспортування бетону з корисним внутрішнім об'ємом від 5 до 15 м<sup>3</sup>.



Рисунок 1.7 – Автобетонозмішувач

Представлена на ринку і техніка компанії PICCINI - автобетонозмішувачі з самозавантаженням SCOUT. Цей вид техніки дозволяє отримати від 1,5 до 5,7 м<sup>3</sup> бетону на виході.

На вітчизняному ринку реалізується техніка таких компаній, як Schwing Stetter (Німеччина), GIFA (Італія), SANY (Китай) і інших виробників з далекого зарубіжжя.

Розглядаючи ситуацію на українському ринку автобетонозмішувачів, фахівці відмічають, що вона за останні роки помітно змінилася. Сьогодні можна спостерігати стійку тенденцію підвищення попиту на автобетонозмішувачі з корисним об'ємом барабана змішувача 6 - 7 м<sup>3</sup>. [23]

Бетононасоси. На думку фахівців, своєчасна доставка товарного бетону на будівельний об'єкт важлива, але не єдина складова його якості. Обов'язкове дотримання правил використання бетону під час подання і укладання його у будівельну конструкцію - відповідальний етап, що впливає на якість об'єкту. На будівельному майданчику близько 30% трудовитрат доводиться на подання і укладання бетону, а самі бетонні роботи належать до категорії найбільш трудомістких. Застосування бетононасосів (рис.1.8) забезпечує ефективність робіт з бетоном, значно підвищує якість і швидкість будівництва. Устаткування для подання бетону може бути як стаціонарним, так і на базі автомобільного шасі. При цьому автобетононасоси забезпечені гідравлічною розподільною стрілою, що робить це технічно мобільним.



Рисунок 1.8 – Автобетононасос

Український ринок бетононасосів, в основному, це сфера діяльності зарубіжних виробників. При цьому широко представлена техніка німецьких компаній. Фирма ELBA - WERK виготовляє дві серії стаціонарних

бетононасосів з потужністю подання бетону від 45 до 57 м<sup>3</sup>/ч і від 70 до 100 м<sup>3</sup>/ч. Насосна частина автобетононасосів ELBA має потужність подання бетону від 70 до 130 м<sup>3</sup>/ч.

Модельний ряд компанії Putzmeister AG представлений різними моделями стаціонарноприцепних бетононасосів (рис.1.9) з потужністю від 17 до 200 м<sup>3</sup>/ч. Компанія Schwing Stetter виготовляє бетононасоси з поданням бетону від 90 до 163 м<sup>3</sup>/ч на висоту від 23 до 58 м.



Рисунок 1.9 – Стаціонарні бетононасоси

На будівельному ринку України реалізують різні моделі бетононасосів італійських виробників. Стаціонарні і автобетононасоси продуктивністю 15 - 150 м<sup>3</sup>/годину (дистанція подання до 200 м по вертикалі і до 500м по горизонталі з висотою стріли автобетононасоса від 18 до 53,5 м) виготовляє італійська компанія МЕСВО. Цей виробник виготовляє також бетонораздаточные стріли різних моделей, які значно розширюють виробничі можливості стаціонарних бетононасосів, дозволяючи укладати бетон в місцях важкодоступних для прокладення бетоновода.

У виробничому асортименті компанії CIFA є присутніми бетононасоси з поданням від 87 до 180 м<sup>3</sup>/ч на висоту від 24 до 52 метрів.

Представлена на українському ринку техніка з Китаю. Фірма SANY виготовляє стаціонарні бетононасоси продуктивністю від 40 м<sup>3</sup> до 121 м<sup>3</sup> в



годину, з дальністю подання до 1500 м по горизонталі і до 350 м по вертикалі. А також автобетононасоси з вильотом стріли від 37 м до 56 м. Окрім цього, окрему позицію займають бетонорозподільні стріли.

Розглядаючи устаткування для подання бетону, а також розвиток будівельної галузі, можна з упевненістю говорити про те, що основним завданням, яке стоїть перед конструкторами при розробці нових моделей бетононасосів, залишається збільшення висоти подання бетону. При цьому актуальним питанням, залишається підвищення надійності конструкції, зниження або збереження на колишньому рівні маси і габаритної довжини установки в транспортному положенні, її стійкості при роботі і безпеці[23].

Реалізація. Фахівці відмічають, що бетонні заводи, автобетонозмішувачі і бетононасоси відносяться до розряду високотехнічного устаткування, застосування якого вимагає певних навичок. З урахуванням цього система реалізації має свої особливості. Деякі зарубіжні виробники цього устаткування мають в Україні свої представництва або надають ці функції відомим українським компаніям.

Офіційним і ексклюзивним представником німецького виробника ТЕКА є компанія «СБТ» (сучасні бетонні технології), яка концептуально підходить до реалізації устаткування і пропонує своїм клієнтам ряд додаткових послуг. Серед них можна відмітити інжиніринг, виготовлення частини устаткування в Україні, навчання персоналу замовника, а також фінансування угоди на тривалий термін під невеликі відсотки. Наприклад, можливість кредитування по міжнародній лінії HERMES (авансовий платіж складає 15% на строк до 5 років, з процентною ставкою від 10,5% річних в євро). Фінансовий лізинг (авансовий платіж від 20% на строк до 7-10 років, дорожчання об'єкту лізингу в рік 7%).

Інтереси італійських виробників - МЕКВО (бетононасоси) і PICCINI (бетонозаводи) на українському ринку представляє компанія MSBUD, яка також використовує різні механізми для просування устаткування. Прикладом цього може служити фінансовий лізинг - спеціальна програма

компанії спільно з Українською Лізинговою Компанією з продажу будівельної техніки з авансовим платежем від 25% вартості лізингового майна на строк до 3-5 років.

Роботу по просуванню устаткування здійснюють і інші представництва зарубіжних виробників. Так, устаткування ELBA на українському ринку представляє представництво компанії ELBA - WERK Maschinen - Gesellschaft mbH в Україні, а устаткування LIEBHERR - представництво компанії LIEBHERR. Офіційний представник італійського виробника устаткування для бетонних заводів O.CUOGHI в СНД - компанія «Універсал Сервіс» (Одеса).

Разом з представництвами зарубіжні виробники для реалізації свого устаткування розвивають дилерську мережу. Офіційним дилером машинобудівного заводу PUTZMEISTER В Україні виступає фірма «ВАРТ».

Ексклюзивний дилер компанії SANY - компанія «Авіа БудСервіс» (Київ).

Автобетонозмішувачі під торговою маркою TIGARBO реалізує супермаркет вантажної автотехніки «Автек», з 2006 р. офіційний дистриб'ютор промислово-торгової групи «TIGARBO» на території України.

Розглядаючи систему реалізації, слід зазначити, що більшість компаній, які займаються продажем устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону проводять консультування і навчання своїх клієнтів, здійснюють проектування, монтаж і пуско-наладку бетонних заводів, надають гарантійне і післягарантійне сервісне обслуговування.

Ключовими постатями на ринку продавців устаткування змішувача зможуть стати тільки ті виробники, які запропонують своїм споживачам можливість реструктуризації існуючого бізнесу, допоможе своїм покупцям у фінансуванні і організації бізнесу з нуля. Сьогодні це дуже актуальне питання для українських виробників товарного бетону. [23]

На сьогодні існує три категорії замовників сучасного устаткування для виробництва товарного бетону :

- «профі» - професійні виробники товарного бетону, представники цієї категорії уміють робити і продавати бетон, грамотно експлуатують бетонну техніку і бетонозмішувальні установки;

- будівельники - знають усі про застосування бетону, купують бетонозмішувальні установки, щоб не залежати від виробників або від умов постачання товарного бетону;

- «бізнес – структури» - знають, що цікавий лише той товар, який можна реалізувати, а з урахуванням того, що попит на якісний товарний бетон росте, вони придбавають бетонозмішувальні установки.

З таким твердженням погоджуються багато фахівців, додаючи при цьому, що техніку для транспортування і подання бетонної суміші придбавають великі виробники товарного бетону, великі будівельні компанії і промислові підприємства. [23]

В цілому, вартість устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону залежить від типу, продуктивності і комплектації (бетонні заводи), потужності приводного двигуна; номінальної продуктивності (стаціонарні бетононасоси), розмірів і облаштування щогли, номінальної продуктивності насоса, типу шасі автомобіля (автобетононасоси), об'єму барабана змішувача, моделі шасі, моделі і потужності двигуна (автобетонозмішувачі) [23].

Головна проблема українського ринку устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону - наявність великої кількості моральна і фізично застарілої бетонної техніки, на якій неможливо стабільно випускати необхідні марки бетону, із-за пріоритету людського чинника в технологічних процесах.

Фахівці компанії «Універсал Сервіс» (Одеса), погоджуючись з цим твердженням, відмічають, що проблемою є недостатнє фінансування. Відомо, що багато виробників виготовляють бетон на застарілому устаткуванні і не

кожен власник підприємства має фінансові ресурси для придбання імпортного або вітчизняного заводу. Подібна ситуація характерна і в сегменті засобів доставки і подання товарного бетону.

Ще однією проблемою цього ринку, на думку фахівців MSBUD, являється відставання регіонів в оснащенні сучасним устаткуванням; чим далі від столиці, тим менше пропозицій по сучасній будівельній техніці, відповідно, і попит на неї великий. Це, у свою чергу, впливає на своєчасне забезпечення будівельного об'єкту усіма необхідними видами бетонної суміші.

Ряд аналітиків відмічає, що основними замовниками «бетонного» устаткування будуть, передусім, великі будівельні компанії. Проте не виключено, що власниками сучасних бетонних заводів можуть стати і виробники цементу. Тим паче, що контрольний пакет акцій багатьох українських цементних підприємств належить іноземним компаніям. [23]

У Україні до кінця 2021 року. мають бути подвоєні об'єми будівництва в порівнянні з сьогоднішніми показниками.

Про це у кінці лютого 2020 р. на нараді з представниками регіонів, будівельних компаній, фінансових установ і банків, присвяченому перспективам збільшення об'ємів житлового будівництва, заявив міністр розвитку громад та територій України.

Внаслідок чого буде рости попит на якісні будівельні матеріали, у тому числі і на товарний бетон. А це означає, що і попит на якісне устаткування для виробництва, транспортування і подання товарного бетону, збільшуватиметься. [23].

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА БУДІВЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО ЯКОСТІ

### 2.1 Основні типи та характеристики бетону

На сьогоднішній день, завдяки технології монолітного будівництва, товарний бетон стає основою для реалізацію нових архітектурних концепцій. Цей будівельний матеріал активно використовується при зведенні промислових і житлових будівель, інженерних споруд та об'єктів соціально-культурного призначення.

Бетон - матеріал без якого не обійдеться жодне будівництво. Призначення бетонної суміші розрізняють за ступенями і видами міцності бетону, і кожна володіє певними особливостями. Ці фактори обумовлюють застосування будівельного розчину для вирішення конкретних завдань. Слід звернути увагу на такі характеристики як марка бетону, міцність, морозостійкість, водонепроникність, щільність та інші важливі параметри.

Бетон - штучний кам'яний матеріал, що отримується в результаті раціонально підбраною і такою, що ретельно перемісила з подальшому затвердінням суміші терпкої речовини, заповнювачів, води і добавок, узятих в певних співвідношеннях[1,2]. До затвердіння цю суміш називають бетонною.

Залежно від призначення бетони повинні відповідати певним вимогам:

- для звичайних залізобетонних конструкцій – мати задану міцність;
- для конструкцій, що перебувають на відкритому повітрі – морозостійкість;
- для стін опалювальних будівель – мати необхідну міцність і теплопровідність;
- для підлог – достатню міцність при вигині й незначну стиранність;

– для дорожніх і аеродромних покриттів – міцність при вигині й морозостійкість.

До загальних вимог щодо всіх різновидів бетонів і бетонних сумішей варто віднести такі:

- до затвердіння бетонні суміші повинні легко перемішуватися, укладатися (бути рухливими й не розшаровуватися);
- бетони повинні мати певну швидкість тверднення відповідно до заданих термінів розпалублення;
- витрати цементу й вартість бетону повинні бути мінімальними.

Отримати бетон, що задовольняє всі висунуті вимоги, можна за умови правильного проектування його складу, правильного приготування, укладання та ущільнення бетонної суміші, а також правильного зберігання в початковий період його тверднення.

Бетони розподіляють

По щільності, кг/м<sup>3</sup>

особливо важкі	>2500
важкі	2200...2500
полегшені	1800...2200
легені	500...1800
особливо легкі	≤500

По міцності - на класи на класи, згідно ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) та ДСТУ Б В.2.7-43-96:

важкі	B3,5; B5; B7,5; C8/10; C12/15; C16/20; C20/25; C25/30; C30/35; C32/40; C35/45; C40/50; C45/55; C50/60
на пористих заповнювачах	B2; B3,5; B5; B7,5; C8/10; C12/15, C15/20; C20/25; C25/30; C30/35; C32/40;
комірчасті	B1,5; B2; B3,5; B5; B7,5; B12,5; C8/10; C12/15;
багато пористі	B1,5; B2; B3,5; B5; B7,5;

поризовані В2; В3,5; В5; В7,5;

За призначенням

- конструкційні;
- теплоізоляційні;
- конструкційно-теплоізоляційні;
- жаростійкі;
- хімічно стійкі;
- декоративні.

По найбільшій великості вживаних заповнювачів, мм

дрібнозернисті	До 10
крупнозернисті	10-150

По морозостійкості

важкі	F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500
на пористих заповнювачах	F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500
Комірчасті, поризовані і богатопористі	F15, F25, F35, F50, F75, F100

По водонепроникності

В2, В4, В6, В8, В10, В12

По виду вживаних заповнювачів

- на щільних;
- на пористих;
- на спеціальних.

По виду вживаного терпкого

- цементні;
- вапняні;
- гіпсові;
- полімерні.

По режиму тверднення

- природного тверднення;
- піддані тепловій обробці;
- автоклавні.

Нині 95% приготування товарного бетону не обходиться без застосування хімічних добавок. У сучасних технологіях добавки вважаються найбільш ефективним засобом регулювання складу і властивостей бетону. Номенклатура добавок і можливості досягнення заданих властивостей постійно розширюються. Хімічно дисперсні мінеральні і комплексні добавки, особливо нового покоління, дозволили обґрунтовувати і нові концепції бетоноведення[6,11].

## **2.2 Добавки до бетонних сумішей**

Застосування добавок є сьогодні провідною тенденцією в технології цементних бетонів, оскільки дозволяє досить просто і ефективно вирішувати завдання по зниженню енерго - і трудомісткості робіт, підвищенню якості бетонних сумішей і бетонів, а також використовувати суміші і бетони, отримання яких без добавок неможливе (литі суміші, високоміцні і бетони в яких процес тужавлення відбувається швидко та ін.). Номенклатура добавок і об'єм їх застосування зростають, що зумовлює потребу в методиках, що дозволяють оперативно і надійно порівнювати ефективність різних добавок, в тому числі поліфункціональних. Це завдання є актуальним ще і тому, що виробники, а частіше, постачальники добавок не завжди представляють вичерпну технічну інформацію, підміняючи її даними рекламного характеру.

Широкий діапазон вживаних нині у всьому світі хімічних добавок, для регулювання властивостей бетонних сумішей і модифікації бетонів, що підрозділяються по основному ефекту їх дії (рис.2.1). Ці добавки регулюють властивості реологій бетонних сумішей, терміни захоплення цементного



тіста і бетонних сумішей, терміни тверднення і набору критичної відпускної міцності бетону, а також добавки, що забезпечують процес тверднення і набору міцності при негативних температурах; що пластифікують, збільшують рухливість або знижують жорсткість бетонних сумішей; водоутримуючі; що регулюють пористість бетону; які залучають повітря, газотвірні, піноутвірні, ущільнюючі; гідрофобізуючі; що змінюють електропровідність бетону, підвищують протирадіаційний захист, бактерицидні, що підвищують, і інсектицидні властивості; що підвищують стійкість у різних хімічно агресивних середовищах; що підвищують жаростійкість бетону, захисні властивості арматури у бетоні[1,2,27].



Рисунок 2.1 - Блок-схема класифікації хімічних добавок

Зміни у нормативних документах, існуючий порядок дозволів на виробництво і застосування добавок, і відсутність представницьких органів, сприяє появі на ринку недостатньо вивчених і апробованих добавок. Деякі хімічні добавки є відходами і побічними продуктами промислових підприємств, не завжди належним чином підготовлені, в деяких випадках змішані з вітчизняними і імпортованими компонентами без необхідних досліджень і обґрунтувань. Багато фірм пропонують добавки під торговими

марками і шифрами без опису складових компонентів, що ускладнює з'ясування їх походження, хімічного складу і можливих наслідків використання [2,5,10].

Особливий інтерес, останнім часом, представляють дослідження і пропозиції по застосуванню високоефективних - суперпластифікаторів. У зарубіжній практиці суперпластифікатори застосовуються досить широко і фірми, випускаючи ці добавки, настійно пропонують їх під різними марками і назвами[19,27,28].

Особливо актуально зараз застосування добавок, які можуть змінити відношення між компонентами суміші відносно еталонного складу. Наприклад, застосування суперпластифікаторів (СП) можливе як з метою підвищення - міцності за рахунок зниження величини В/Ц в равноподвижних сумішах, так і для отримання литих сумішей при незмінній витраті води порівняно з контрольним складом. В цьому випадку при оцінці ефективності СП як добавки, що підвищує міцність бетону, в першому випадку результат буде позитивним, а в другому - ні. Перелік подібних проблем можна продовжити. Очевидно, що вдосконалення системи оцінки ефективності добавок для бетонів є актуальним завданням.

При оцінці ефективності добавок слід враховувати наступні аспекти:

- можлива зміна первинного співвідношення між компонентами бетонної суміші;
- наявність як позитивного, так і негативного ефекту при використанні добавок, а також різний механізм дії добавки по основному і другорядним ефектам;
- як правило, S - образний характер зміни ефективності добавок залежно від дозування і неоднозначність ефекту від дозування в різних областях ефективності дії добавки. При збільшенні дозування на першому етапі ефект незначний, на другому етапі підвищення дозування призводить практично до пропорційного росту якості, на третьому етапі підвищення

дозування практично не дає ефекту. Очевидно, що раціональною областю дозування є другий етап (рис.2.2);

– неприпустимість підміни параметрів при оцінці ефективності, наприклад, зниження водопотреби і розріджуючий ефект при застосуванні СП не обов'язково будуть однаково ефективні.

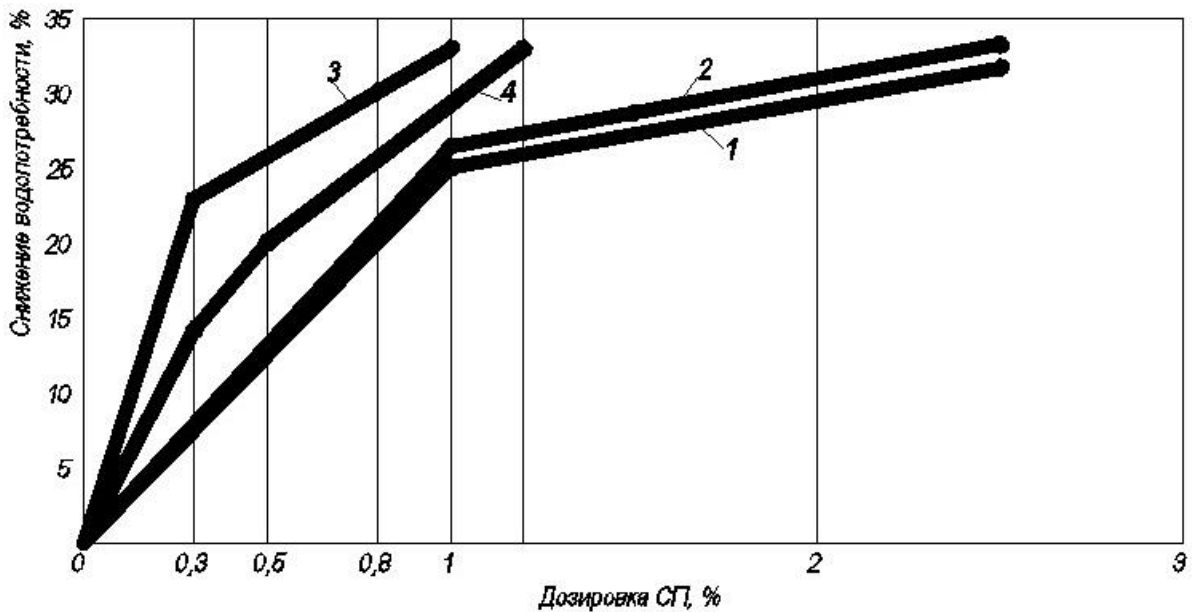


Рисунок 2.2 - Вплив дозування добавки на зниження водопотреби бетонної суміші.

У зв'язку з цим в основу методики оцінки ефективності мають бути покладені принципи, що враховують вищезгадані чинники. Основні положення за оцінкою ефективності добавок запропоновані Батраковим В.Г., Дем'янової В.С., Калашниковим В.І., Мчедловим-Петросяном О.П., Ушеровим-Маршаком А.В. та ін. Стосовно практичної оцінки ефективності доцільно застосовувати метод, що відповідає сформульованим вище положенням. Суть методу полягає в оцінці ефективності добавки з урахуванням можливої зміни складу бетону відносно еталону, тобто у оцінці впливу добавки на зміну залежності «властивість бетону - основний чинник» і виявленні ефективності добавки в усьому діапазоні дозувань, тобто. у виявленні S - образної залежності «властивість - дозування» [1,11,20,27].

Як відомо усі корисні властивості визначаються його пористістю, а пористість в першу чергу залежить від величини В/Ц. У зв'язку з цим при можливій зміні величини В/Ц при застосуванні добавки (що водоредукує або поліфункціональною) «автоматично» станеться зміна усіх властивостей бетону. Тому коректно говорити про ефективність впливу добавок на властивості бетону можливо тільки з урахуванням вищесказаного. Наприклад, при введенні СП можливе зниження водопотреби суміші на 20% і більше, при цьому внаслідок зниження В/Ц при незмінній витраті цементу станеться підвищення міцності бетону, зниження усадки і повзучості, підвищення модуля пружності, зміна кінетики тверднення і так далі. Для того, щоб виділити ефект саме від застосування добавки, необхідно спочатку виявити міру зміни якої-небудь властивості від зміни величини В/Ц. Якщо ефект від застосування, добавки не пояснюється тільки, зміною величини В/Ц, то додатковий ефект можна розглядати як результат від дії добавки. Такий підхід особливо доцільний для комплексних модифікаторів, оскільки оцінка ефективності впливу добавок на властивості бетону будується, на принципі «приведення» значень властивостей до рівної величини В/Ц. Необхідні для цього деякі основні, або «базові», залежності властивостей бетону від величини В/Ц або іншого «основного чинника» (який є функцією В/Ц)[1,3,4].

Найбільший технологічний ефект дають суперпластифікатори. Ці добавки більшою мірою, порівняно з раніше застосовуваними пластифікаторами, збільшують рухливість і плинність бетонної суміші, істотно поліпшують будівельно-технологічні властивості бетону, забезпечують значну економію цементу. Механізм дії суперпластифікаторів базується на адсорбції полярних молекул на поверхні частинок цементу під час їхньої гідратації. Як наслідок, після початкового сповільнення гідратації й утворення коагуляційної структури розпочинається прискорення тверднення.

Більшість суперпластифікаторів – це синтетичні полімерні речовини, які додають до бетонної суміші в кількості 0,1...1,2 % від маси цементу. Дія суперпластифікаторів зазвичай обмежується 2...3 год. з моменту їхнього введення в бетонну суміш.

Асортимент добавок постійно росте. Цьому сприяють дослідження, виконані за останні роки в центральній лабораторії корозії НДІЗБ, в результаті яких було створено і усебічно досліджено ряд високоефективних пластифікаторів бетонної суміші, у тому числі суперпластифікатор С-3. Суперпластифікатор С-3 є карбоциклічним конденсованим олігомером, якому надана водорозчинність і пластифікуючі властивості за рахунок сульфонування. Основною сировиною для виробництва суперпластифікаторів типу С-3 і похідних від них являються нафталін виробництва, що містять продукти, і очищення нафталіну - нафталіновій фракції, що виділяється при розгоні кам'яновугільної смоли і нафталінової олії. [12,29]

За даними досліджень НДІЗБ і досліджень в лабораторіях фірми «Будіндустрія» м. Запоріжжя, у тому числі у виробничих умовах, встановлено, що при введенні до складу бетонної суміші добавок С-3 спостерігається значне її розрідження, збільшується осідання конуса від 3-5см до 18-20см. Висока рухливість зберігається і при деякому зниженні водоцементного відношення[16,18,19].

Певний інтерес представляють порівняльні дослідження впливу добавок С-3 і інших зарубіжних добавок близьких по пластифікуючому ефекту дії на бетонну суміш.

Проведені дослідження показали що усі суперпластифікатори які досліджувалися мають приблизно рівну розріджуючу здатність. При введенні до складу малорухомих бетонних сумішей (з ОК=2...3см) суперпластифікаторів у кількості 0,5...1 % від маси цементу можна отримати високорухливі (з ОК=16...18см) суміші і додатково понизити водоцементне відношення. При цьому міцність бетону збільшується на 3-5%, що дозволяє понизити витрата цементу на 8-10%. Дослідження впливу добавок на

тривалість збереження пластифікуючого ефекту впродовж певного часу показали, що бетонна суміш с. добавкою С-3 впродовж години практично не змінює рухливість. Через 1,5 - 2 години вона має також більшу рухливість, ніж бетонна, суміш без добавок. Зниження впродовж часу рухливості бетонних сумішей такої ж консистенції з добавками вищезгаданих зарубіжних фірм, а незначне, а через 1,5-2 години швидше, ніж з добавкою С-3. Приріст міцності бетонів з добавками суперпластифікаторів інтенсивніший в початкові терміни тверднення, трохи зменшується в порівнянні з бетонами без добавок при подальшому твердненні і через 28 діб досягає проектної міцності (рис.2.3) [18].

Важливою характеристикою бетонних сумішей, що визначає якість бетону являється водоутримуюча здатність, що оцінюється по водовідокремленню - питомому водовідокремленню, яке розраховується як відношення повної кількості що відокремився води до об'єму бетонної суміші.

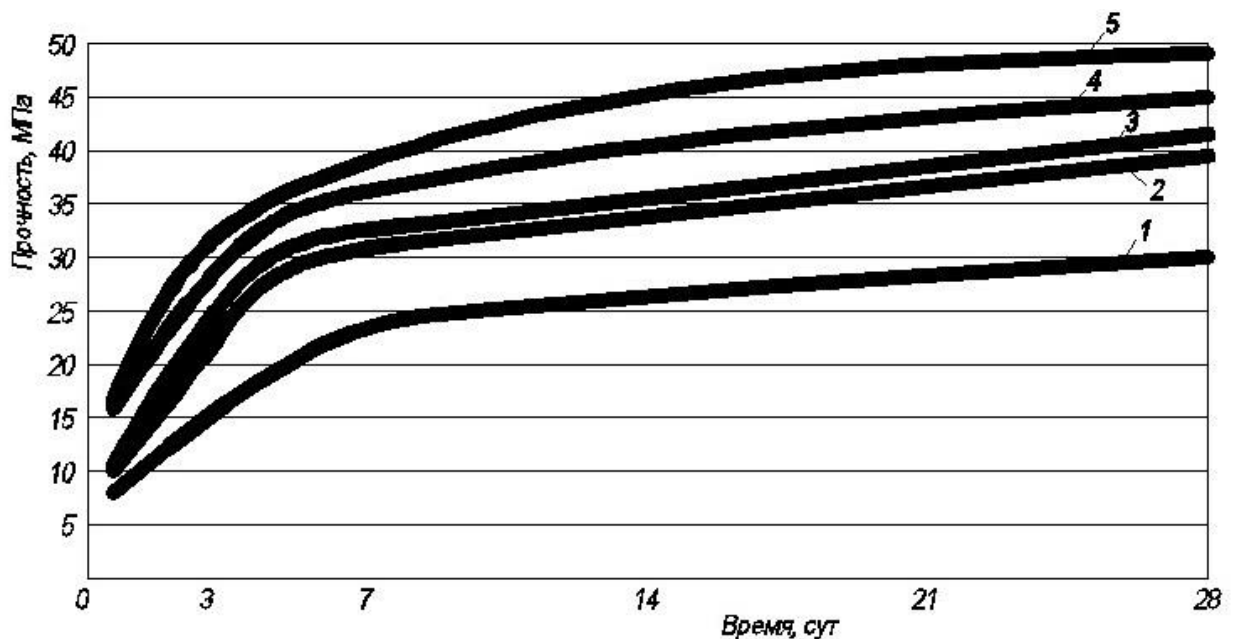


Рисунок 2.3 - Кінетика набору міцності бетону С25/30 залежно від типу суперпластифікатора.

При дослідженнях бетонних сумішей без добавок і з добавками суперпластифікаторів, що мають однакову удобоукладаємість, яку

регулювали водоцементним відношенням, кінетика водовідокремлення у пластифікованих бетонних сумішей спостерігається меншою, зважаючи на їх меншу водопотребу. Це зумовлює меншу схильність пластифікуючих сумішей до розшарування, з'являється важливим чинником нераслаиваемости бетонних сумішей при незмінній витраті піску і цементу і збереження однорідності суміші. Наприклад при транспортуванні і укладанні бетону із застосуванням бетононасосів коли для бетонних сумішей без добавок доводиться збільшувати коефіцієнт розсунення зерен великого заповнювача і, відповідно, збільшувати кількість частини розчину[1,18,20].

Підвищення рухливості бетонної суміші дозволяє також скоротити час вібрації суміші, підвищити довговічність ущільнюючого устаткування і форм, отримати економію електроенергії і поліпшити умови праці.

Порівняння ефективності застосування добавок українського і зарубіжного виробництва показало, що зарубіжні добавки не мають переваг, як відносно пластифікуючої здатності, так і відносно характеристик міцності. Тому при застосуванні суперпластифікаторів необхідно враховувати, що вони є дорогими матеріалами, а частенько і дефіцитні, особливо зарубіжні.

Отже, суперпластифікатори повинні застосовуватися не лише для економії цементу, вартість якого може покриватися вартістю добавки пластифікатора, а його слід застосовувати в першу чергу там, де вони можуть забезпечити найбільший ефект в грошовому вираженні, в комплексному зниженні матеріально-технічних параметрів, характеристик міцності і інших властивостей конструкцій[18,24].

### **2.3 Легкобетонні суміші.**

Найбільш поширений у будівництві звичайний важкий бетон на цементному терпкому. Останнім часом в південній частині України дуже

широке застосування в монолітному будівництві житлових і цивільних будівель і споруд почав отримувати легкий бетон на пористих заповнювачах. Це обумовлено рядом переваг[6,11,18] :

- легкі бетони менш теплопровідні в порівнянні з важкими бетонами, що дуже істотно у наш час боротьби за збереження тепла;
- легкі бетони мають меншу об'ємну масу, через це конструкції з легкого бетону в 1,3-1,7 разу легше;
- показники міцності бетону дозволяють зводити будівлі до 16-етажей у висоту;
- можливість укладання в опалубку без ущільнення;
- можливість використання більше полегшених опалубних систем, за рахунок зменшення тиску бетонної суміші на опалубку внаслідок меншої об'ємної маси;
- роботи по транспортуванню, укладанню, і відходу за бетонною сумішшю є економічніше ефективними.

Різновиди легких бетонів (ЛБ) за призначенням:

Теплоізоляційні які використовуються для облаштування теплоізоляції будівель, інженерних конструкцій; теплопровідність будматеріалу - від 0,14 Вт\*мС; щільність - до 400 кг/куб. м.

Конструкційно-теплоізоляційні ЛБ: міцність - від В1.0; морозостійкість - від 25 циклів; густина - від 500 кг/куб. м.

Конструкційні: міцність ЛБ - від В12. 5; густина - від 2000 кг/куб. м.

Тип будматеріалу за структурою:

- поризований;
- крупнопористий;
- щільний.

Згідно з технологією виробництва, пори в бетонних блоках формуються за допомогою газу, піни, спеціальних складів які втягують повітря. А досягнення технічних параметрів матеріалу може здійснюватися природною сушкою виробів, тепловологісною обробкою, автоклавуванням.



До бетонних будматеріалів легкої групи відносяться: керамзитобетон, пемзобетон, вермикуліт, шлакобетон, перлітобетон (рис 2.4), керамзитоперлітобетон, аглопоритобетон, шлакопемзобетон, шунгзитобетон, термозитобетон, пористий бетон зі склоподібними наповнювачами.



Рисунок 2.4 - Полістиролбетон

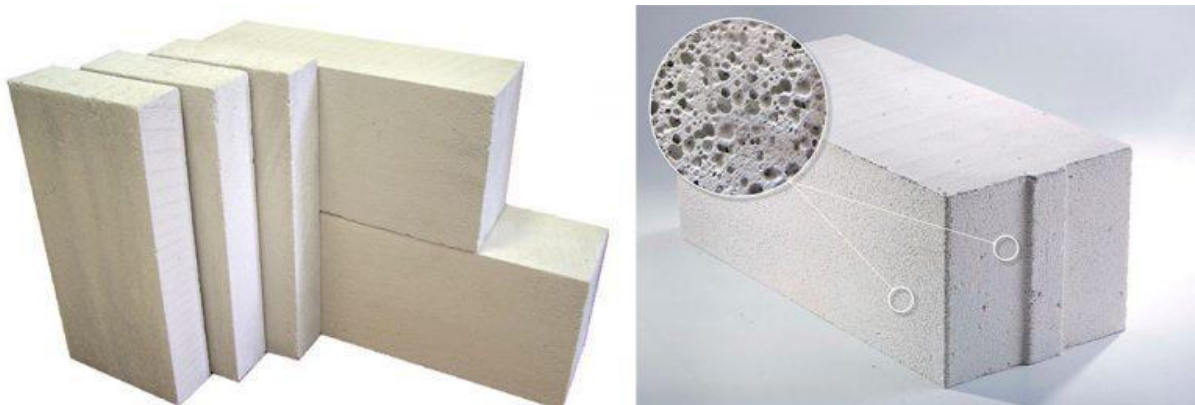


Рисунок 2.5 - Силікатний бетон

Класи легких бетонів на стискування відповідають значенню гарантованої міцності бетону в МПа і знаходяться в межах В1 – С32/40 [1,6,11,18].

Суміші які призначені для виготовлення виробів і конструкцій вібраційним або літним способом, повинні відповідати ГОСТ 7473-2010 і

характеризуватися жорсткістю або рухливістю, показники яких призначаються по технологічних регламентах виробництва.

Як в'язучі речовини необхідно використати мінеральні в'язучі, які відповідають вимогам чинних нормативних документів.

Великі і дрібні пористі заповнювачі необхідно використати заповнювачі які відповідають ГОСТ 32496-2013, ГОСТ 10832-2009, ГОСТ 25592-2019, ГОСТ 25818-2017 допускається використання інших видів пористих заповнювачів при відповідному забезпеченні нормативно-технічною документацією.

Великі пористі заповнювачі повинні використовуватися у вигляді фракцій, які окремо дозуються при приготуванні бетонної суміші з розміром зерен більше 5-10 мм, більше 10-20 мм і более 20-40 мм або суміші декількох фракцій, у яких дрібна фракція 5-10 мм має бути от 25 до 50% за об'ємом. Для конструкційних бетонів фракція 20-40мм не використовується, а у конструкційно-теплоізоляційних бетонах вона повинна складати не більше 30% за об'ємом. У дрібнозернистих бетонах використовується фракція 5-10мм[11,18].

Вибір великих пористих заповнювачів по насипній щільності приймається залежно від їх призначення і тренований міцності і щільність бетону, виду і властивостей дрібного заповнювача, що використовується, форми великого заповнювача (гравій, щебінь) з урахуванням додатків Б, В ДСТУ Б В. 2.7-18-95.

Дрібні заповнювачі для приготування легких бетонів повинні використовуватися:

- для конструкційних бетонів - пористі або щільні піски;
- для конструкційно-теплоізоляційних бетонів - пористі піски;
- для теплоізоляційних бетонів - пористі піски.

Допускається використання в легких бетонах змішаного дрібного заповнювача пористого різних видів (у тому числі зол ТЕС і золошлакових сумішей) і кварцового піску.

Зерновий склад пористих пісків повинен відповідати вимогам ГОСТ 32496-2013. Вода для приготування легких бетонів повинна відповідати вимогам ГОСТ 23732-2011.

Для регулювання і поліпшення властивостей бетонних сумішей легких бетонів слід застосовувати добавки, які відповідають ДСТУ Б.В. 27-65-97 «Добавки для бетонів і будівельних розчинів».

## 2.4 Технологічні аспекти приготування бетонних сумішей.

Бетонну суміш готують, як правило, на стаціонарних і приоб'єктних бетонних заводах. Постійно діючі стаціонарні заводи випускають товарний бетон для споживачів довколишніх районів. Приоб'єктні заводи зводять для будівництва конкретних об'єктів, і термін їх експлуатації не перевищує 2-3 роки. Їх споруджують збірно-розбірними або з окремих блоків (рис.2.6).

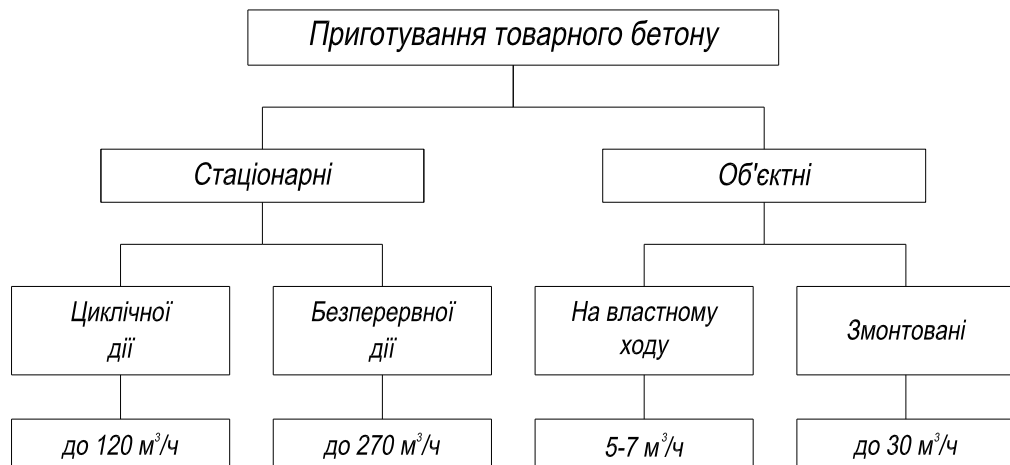


Рисунок 2.6 - Блок-схема класифікації бетонних заводів і установок

Нині широке використання у будівництві набувають пересувні легкопересувні, бетонозмішувальні установки. Вони розташовуються, у

безпосередній близькості від місць укладання бетону і є однією з ланок комплексної механізації виробництва бетонних робіт.

Пересувні бетонозмішувальні установки компонують з укрупнених вузлів, які можна переміщати на : автомашинах, трейлерах або ж на власному колісному ходу за допомогою тягачів. Бетонозмішувальні установки на колісному ходу маневрені і відрізняються різноманіттям типорозмірів і конструктивних рішень. Продуктивність їх коливається - від 5 до 7 м<sup>3</sup>/ч.

За способом, монтажу мобільні установки можна підрозділити на ті, що збираються самостійно і монтовані за допомогою вантажопідйомних засобів. Установки, що збираються самостійно, обладнані механізмами для переведення установки з робочого положення в транспортне, і навпаки.

Перебазування установок, з об'єкту на, об'єкт не вимагає залучення вантажопідйомних засобів і фахівців монтажників. Продуктивність установок, не перевищує 30 м<sup>3</sup>/ч [2,6,11].

На об'єктах, споживаючих бетонну суміш однієї марки, або в тих випадках, коли не потрібно часту зміну її складу, використовуються бетонозмішувальні установки безперервної дії. Їх застосування найбільш ефективно. на об'єктах дорожнього, аеродромного, гідротехнічного, меліоративного і інших видів будівництва.

У сучасному будівельному виробництві великі бетонні заводи в комплекті з паркам бетонотранспортних засобів забезпечують бетонною сумішшю об'єкти промислового і цивільного будівництва, розташовані в радіусі та 100 км. Основним засобом доставки бетонної суміші служить автомобільний транспорт.

За способом приготування бетонної суміші розрізняють заводи і установки циклічної (порційного) і безперервної дії, обладнані відповідно машинами змішувачів циклічної або безперервної дії.

Залежно від способу подання складових компонентів у бетонозмішувальні машини розрізняють одно- і двоступінчаті технологічні схеми.

При одноступінчатій схемі матеріали подають у витратні бункери, а потім, пройшовши через систему дозаторів, вони під дією власної ваги (гравітаційний принцип) потрапляють у бетонозмішувальні машини. Це полегшує можливість автоматизації приготування суміші, При двоступінчатій схемі має місце двократний підйом матеріалів.

Заводи з одноступінчатою схемою компактніші, але мають значну висоту, що ускладнює їх монтаж і демонтаж. В зв'язку з цим їх рекомендується застосовувати при витраті бетону понад 25. . 35 м<sup>3</sup>/ч.

Компоненти бетонної суміші дозують по масі; для води можна застосовувати об'ємне дозування. При допускається відхилення на заміс що не перевищує для води і цементу 1% і для заповнювачів 2%.

Сучасні бетонні заводи і бетонозмішувальні установки є автоматизованими комплексами різної потужності [2,6,11].

Застосування напірного і літного способів бетонування монолітних конструкцій з легкого бетону характеризується зміною рухливості легкобетонних сумішей в результаті поглинання води зачинення пористим заповнювачем, схильністю до розшарування при дії динамічних і вібраційних навантажень, підвищенням стисливості і опору при поданні і укладанні.

Отримання високорухливих і литих сумішей з легкого бетону, залежать від водопоглинення і водовіддача пористих заповнювачів. При визначенні водовбирної здатності пористого заповнювача необхідно враховувати як кількість введення пластифікуючої добавки у бетонну суміш, так і інтенсивність втрати її рухливості при виробництві бетонних робіт. В порівнянні з бетонними сумішами для отримання рівної легкоукладаємості вимагають збільшення витрати добавок на 20 - 30%. Тривалість збереження початкової рухливості у легкобетонних сумішей в 1,5 - 2 рази менше.

При поданні по трубах легкобетонні суміші під впливом надмірного тиску зневоднюються і втрачають свою здатність до перекачування. Водовіддача заповнювача відбувається в результаті розширення повітря, що міститься в зернах пористого заповнювача, при зниженні тиску на бетонну

суміш або при її нагріві. Вода, що витісняється з пір заповнювача, збільшує розшарування бетонної суміші, що погіршує властивості бетону. Для зменшення водопоглинення пористих заповнювачів застосовують попередню їх обробку, яка включає : перемішування з водою, зрошування, замочування, вакуумування.

Водонасичення пористих заповнювачів перемішуванням з водою виконують у бетонозмішувачах і автобетонозмішувачах безпосередньо в процесі приготування легкобетонних сумішей. Пористі заповнювачі завантажують у барабан змішувача і подають в нього воду.

Зрошування використовують в основному, щоб зменшити водопоглинання пористих заповнювачів для збереження рухливості легкобетонної суміші в процесі її приготування і доставки на будівельний об'єкт. Зрошувальна установка складається з пристрою який розприскує і майданчика складування з похилою бетонною основою для стоку води. Заповнювачі складують в штабель і в течії двох-трьох днів обприскують водою. При появі в основі штабелю води зрошування переривають і поновлюють тільки після її видалення. Це триває в течії 2 - 3 годин.

Зрошування заповнювачів забезпечує невисокий відсоток заповнення їх пір. Тому такий спосіб обробки найбільш ефективний для заповнювачів з відкритою пористою структурою і незначним об'ємом пір.

Замочування пористих заповнювачів здійснюють у відкритих місткостях, наприклад резервуарах, баках, зливних басейнах, впродовж 1-2 діб. Заповнювачі складують і заливають водою так, щоб її рівень над поверхнею матеріалу складав 20 - 25см. Причому необхідно, щоб заповнювач не плавав на поверхні, а був повністю втоплений у воді. Для цього його укривають сталеву сіткою з осередками розміром 5мм, яка перешкоджає спливанню великих зерен пористого матеріалу[1,2,18].

Найбільша інтенсивність водопоглинання заповнювачів при замочуванні у воді спостерігається в перші години, потім вона затухає.

Цей спосіб найбільш ефективний для водонасичення матеріалів з незначною пористістю (пористий вапняк) або з відкритою великопористою структурою (шлакова пемза).

Водонасичення пористих заповнювачів з попереднім вакуумуванням забезпечує максимальне заповнення пір водою, оскільки дозволяє видалити з них усе повітря, що перешкоджає проникненню всередину води. При цьому міра заповнення пір водою пропорційна величині створюваного розрідження, тривалості вакуумування і витримки заповнювача у воді. Для просочення пористих заповнювачів з попереднім вакуумуванням використовується спеціальне устаткування - вакуум-установка.

Принцип роботи вакуум-установки полягає в наступному: пористий заповнювач дозують в приймальному бункері завантажувального пристрою і подають у вакуум-установку або дозують безпосередньо у вакуум-камері. Вона герметично закривається, і в ній вакуум-насосом створюється необхідне розрідження.

Заповнювач який був вакуумований витримують при заданому розрідженні впродовж заданого часу, після чого, підтримуючи досягнутий вакуум, в камеру з витратного бака подають воду. Після закінчення заповнення вакуум-камери водою клапаном з замком перекривають трубопровід, що сполучає її з вакуум-насосом. Після витримки у воді пористого заповнювача його вивантажують з камери і транспортером подають в спеціальні накопичувальні бункери. Відпрацьовану воду закачують гідронасосом у витратний бак, об'єм води якого бракує для наступного циклу водонасичення компенсують з магістрального водопроводу.

Складують і зберігають пористі водонасичені заповнювачі в спеціальних накопичувальних бункерах з кришками. Тривалість зберігання не повинна перевищувати 3 - 4 ч. При температурі повітря 10 - 18°C і 1,5 - 2 ч. - більше 20°C. Для збереження досягнутої міри водонасичення впродовж тривалого часу використовують періодичне зволоження матеріалу або

зберігають його в ємностях з водою. Перед використанням водонасичених заповнювачів воду з місткостей зливають [6,11].

Раціональне використання заздалегідь водонасичених пористих заповнювачів значно знижує адсорбцію добавок, що вводяться у бетонну суміш, і виключає поглинання води зачнення пористими матеріалами. В результаті цього для отримання рівнорухливих легкобетонних сумішей потрібно на 25-30% менше добавок, ніж для сумішей на сухих заповнювачах. Крім того, збільшуючи щільність пористих заповнювачів, попереднє водонасичення запобігає спливанню великих зерен, що підвищує однорідність легкобетонної суміші. Зменшується і тертя між твердими частками у бетонній суміші, що покращує її растекаемость при укладанні. Досвід показує, що фізико-механічні і теплофізичні властивості легкого бетону в результаті застосування водонасичених заповнювачів не погіршуються. Проте даних за експлуатаційними характеристиками бетону недостатньо, щоб рекомендувати попереднє водонасичення в зимових умовах для виготовлення конструкцій, до яких пред'являються спеціальні вимоги по морозостійкості.

При водонасиченні пористих заповнювачів необхідно вибирати оптимальні способи їх обробки (таблиця 2.1).

Початковий вміст води в пористих заповнювачах в порівнянні з матеріалами, що мають щільну структуру, залежить від вологості довкілля. Слід зазначити, що вологість пористих заповнювачів неоднорідна по висоті штабелю. Враховуючи, що щільність навіть сухих заповнювачів в одній партії може відрізнятися на 10 - 15%, а залежно від вологості зерен показники варіації об'ємної маси можуть досягти ще більшої величини, пористі матеріали дозують об'ємним або об'ємно-масовим способом.

Приготування однорідних високорухливих і литих легкобетонних сумішей на пористих заповнювачах щільністю менше  $600 \text{ кг/м}^3$  найефективніше здійснювати у бетонозмішувачах примусової дії. При



використанні пористих заповнювачів щільністю більше 600 кг/м<sup>3</sup> або водонасичених матеріалів застосовують гравітаційні змішувачі.

Таблиця 2.1 - Ефективність застосування способів попередньої обробки пористих заповнювачів.

Заповнювач	Перемішування з водою				Зрошування				Замочування				Вакуумування			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Керамзитовий шунгізовий і зольний гравій насипний об'ємною масою до 600кг/м <sup>3</sup> включно	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+
Те ж, зверху 600кг/м <sup>3</sup>	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Аглопорит і шлакова пемза	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+
Литоїдна пемза і туф	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+
Вапняковий щебінь	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Керамзитовий пісок	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
Перлітовий і пемзовий пісок	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примітка. Позначення: I - збереження заданої рухливості і однорідності легкобетонної суміші при температурі повітря до 20°C; II - те ж, при температурі до 40°C; III - подання легкобетонної суміші по трубах пневмоустаткуванням; IV - те ж, бетононасосними установками.

Послідовність завантаження компонентів бетонної суміші у барабан бетонозмішувача залежить від способу приготування і структури пористих заповнювачів, а також їх стану (сухий або водонасичений) (рис.2.7).

Для приготування легкобетонних сумішей на низкопрочних пористих заповнювачах (П25 - П75) в змішувачах примусової дії в змішувач подають спочатку цемент і 2/3 воду зачиннення. Якщо використовують щільний пісок, останній завантажують в змішувач разом з цементом. Вказані компоненти перемішують впродовж 1 хв., потім після подання пористих заповнювачів і

залишку води, ще 4 хв. на сухих і 3 хв. - на водонасичених пористих матеріалах[6,11].



Рисунок 2.7 - Блок-схема приготування легкобетонної суміші.

При використанні міцних пористих заповнювачів (марки по міцності П125 і більше) в змішувач завантажують відразу усі компоненти і перемішують з 2/3 води зачиннення впродовж 1,5 - 2 хв. Потім подають іншу воду з хімічною добавкою і остаточно перемішують впродовж 0,75 - 1 хв.

Турбулетні змішувачі дозволяють інтенсифікувати процес приготування легкобетонних сумішей, в результаті скорочується час перемішування в порівнянні зі змішувачами примусової дії з 3-4 до 1-1,5 хв. Приготування легкобетонних сумішей в турбулетному змішувачі найбільш ефективно для отримання бетону класів по міцності В3,5 - В7,5 на низьких по міцності пористих заповнювачах за відсутності пористого піску.

Цей спосіб передбачає використання ефекту дроблення пористих зерен, в першу чергу слабких, і утворення активної дрібномолотої добавки, що веде до підвищення середньої міцності заповнювача, а отже, і бетону. Це дає можливість отримати міцні бетони і заощадити до 15 - 20% цементу.

Послідовність приготування легкобетонних сумішей: спочатку в змішувач заливають воду, потім вводять цемент і перемішують впродовж 5-10с. Після цього завантажують пористий заповнювач і перемішують ще 40-80с. Щільність вживаного пористого заповнювача в насипному стані має бути не більше  $600 \text{ кг/м}^3$ . Добавки вводять у кінці перемішування.

Для приготування легкобетонних сумішей в гравітаційних змішувачах на сухих пористих заповнювачах в змішувач подають цемент, дрібний і великий заповнювачі і перемішують впродовж 45-60с, потім подають воду затвердіння і знову перемішують впродовж 90-270с.

Для попереднього водонасичення заповнювачів в процесі приготування пористі матеріали завантажують в змішувач разом з водою і перемішують впродовж заданого часу. Потім додають інші компоненти, залишок води зачиннення, добавку і перемішують впродовж 90-240с.

При використанні заздалегідь водонасичених пористих заповнювачів їх вводять з щільним піском, після чого перемішують впродовж 60с, а потім подають цемент, воду і добавку. Якщо в якості дрібного заповнювача

застосовують водонасичений пористий пісок, усі компоненти для приготування бетонної суміші вводять одночасно. [6,11]

## **2.5 Технологічні аспекти транспортування, укладання і ущільнення бетонних сумішей.**

У будівельному виробництві найбільше поширення мають дві основні схеми транспортування бетонної суміші :

- від пункту приготування до місця перевантаження на будівельному об'єкті або укладання безпосередньо в конструкцію;
- від місця перевантаження на будівельному майданчику до місця укладання у бетоновану конструкцію.

Неодмінною технологічною умовою при транспортуванні бетонної суміші є збереження до моменту укладання у бетоновану конструкцію заданих при її приготуванні однорідності, рухливості температури. Цього досягають правильним підбором складу бетонної суміші, модифікацією її добавками, максимальним скороченням і оптимізацією маршрутів перевезень, застосуванням спеціалізованих автотранспортних засобів, транспортуванням «сухих» або «напівсухих» компонентів бетонних сумішей з її приготуванням в дорозі або у об'єкті і іншими технологічними прийомами[23].

Якщо в результаті перевезення бетонної суміші за прийнятою схемою зміна спочатку заданих їй характеристик набуває безповоротного характеру, то це треба розглядати як технологічну відмову, при якій слід шукати інший спосіб транспортування бетонної суміші (рис.2.8).

Залежно від віддаленості об'єктів від місця приготування бетонної суміші, характеру доріг, кліматичних і інших умов доставку бетонної суміші до об'єктів, що будуються, можна здійснювати автомобілями-самоскидами,

автобетоновозами, автобетоносмесителями, при перевезенні сухих компонентів бетонної суміші - автомобілями в капсулах або м'якій вологонепроникній тарі, у бункерах і цебрах. Останній спосіб технологічно і економічно виправданий в основному при бетонуванні великих, масивних конструкцій, що допускають застосування цебрів великої місткості і їх доставки великовантажним транспортом.



Рисунок 2.8 - Функціональна схема транспортування товарних бетонів.

В окремих випадках для доставки бетонних сумішей може бути вигідним використання стрічкових конвеєрів, наприклад при невеликих відстанях між місцем приготування і укладання суміші, приготуванні бетонної суміші на установках безперервної дії, великих об'ємах робіт і високої інтенсивності процесу бетонування.

Доставку бетонної суміші від місця її розвантаження у об'єкту, до місця укладання в конструкцію залежно від визначальних умов можна здійснювати: кранами за схемою «кран-цебер», підйомниками з подальшим транспортуванням бетонної суміші на відмітці робочого горизонту, конвеєрами, бетоноукладачами, а також бетононасосами і пневмонагнетателями по трубопроводах. [1,6,23]

Автомобільні перевезення бетонної суміші здійснюють автомобілями-самоскидами, автобетоновозами, автобетонозмішувачами, а також автомобілями, обладнаними платформою.

При цьому мають місце дві основні технологічні схеми доставки бетонної суміші :

- від місця приготування до місця розвантаження безпосередньо у бетоновану конструкцію;

- від місця приготування до місця перевантаження в інший транспортний засіб або пристрій.

Першу схему застосовують при бетонуванні конструкцій, розташованих на рівні або нижче рівня землі (фундаментів під устаткування, підпірних стінок, фундаментних плит і т. п). При цьому залежно від відстаней доставки, характеру доріг, температури довкілля і інших умов використовують автомобілі-самоскиди, автобетоновози і автобетонозмішувачі.

Друга схема передбачає доставку бетонної суміші і її розвантаження у бункери-перевантажувачі, приймальні бункери бетононасосів і пневмонагнетателів, цебри з подальшою доставкою кранами на робоче місце та інше.

При транспортуванні бетонної суміші основним технологічним завданням являється збереження заданих проектом її однорідності і рухливості. З цією метою необхідно по можливості виключити вібрацію, що передається через раму автомобіля, що призводить до тиксотропного розрідження суміші. При інтенсивних струсах під час перевезення,

горизонтальних динамічних навантаженнях в результаті різкого гальмування, розвантаженні або перевантаженні великий заповнювач осідає вниз, а цементне молоко і розчин спливають і бетонна суміш втрачає однорідність.

При перевезеннях, здійснюваних взимку, виникає необхідність в оберіганні бетонної суміші від заморожування або збереженні заданої плюсової температури до моменту її доставки на місце, а при перевезеннях в умовах сухої печені клімату - оберіганні суміші від швидкого обезводнення.

Технологічно допустима тривалість транспортування бетонної суміші залежить від початкової температури останньої, температури повітря, виду цементу і типу транспорту. Вона обчислюється з моменту завантаження суміші в транспортний засіб до початку ущільнення і в середньому не повинна перевищувати 60 мін (при цементах з термінами схоплювання не менше 1 ч) при знижених температурах зовнішнього повітря (+5... + 100<sup>0</sup>С) тривалість транспортування може бути збільшена до 120 хв. Ця умова і визначає граничну дальність доставки бетонної суміші з урахуванням стану доріг, швидкості руху і виду транспортного засобу, що допускається.

Деякі дослідники вважають, що при плюсовій температурі повітря під час перевезення бетонної суміші має місце приріст міцності бетону на 5... 8%. Це може бути пояснено лише тим, що первинна маломіцна великокристалічна структура суміші, що утворюється відразу після зачиннення в результаті динамічних дій в процесі транспортування і розвантаження, руйнується і внаслідок повторної гідратації на її основі утворюється вторинна, міцніша кристалічна структура[24,30].

За відсутності спецавтотранспорту допускається транспортувати бетонні суміші на короткі відстані самоскидами, при цьому слід здійснювати наступні заходи по їх удосконаленню:

- для зменшення втрат бетонної суміші при її перевезенні в самоскидах в результаті її вихлюпування рекомендується нарощувати борти його кузова не менше чим на 40 см;

- для ліквідації витоку частини розчину бетонної суміші рекомендується ущільнювати місце, примикання заднього борту до кузова прокладеннями з листової гуми; транспортних стрічок, шлангів і т. п;
- для збереження температури бетонної суміші, що перевозиться автосамоскидами при температурах зовнішнього повітря, вище  $+15^{\circ}\text{C}$  і нижче  $-5^{\circ}\text{C}$  рекомендується термоізулювати кузов;
- для полегшення і, скорочення часу вивантаження бетонної суміші з кузова рекомендується використати вібрспонукачі, наявні в гідроциліндрах деяких самоскидів.

Автобетонозмішувач це бетонозмішувальний барабаном, змонтованим на шасі автомобіля або на напівпричепі, що буксирується сідельним тягачем, і приведений в рух від автономного двигуна автомобіля через коробку відбору потужності.

Автобетонозмішувач в порівнянні з автомобілями-самоскидами і бетоновозами мають дві основні технологічні переваги:

- можливість збільшення відстані транспортування (до відомих меж) без зниження якості бетонної суміші і її втрат в дорозі;
- порційне розвантаження бетонної суміші, що дозволяє завантажувати бункери і цебри незалежно від співвідношення їх об'ємів, і кузова машини, а також здійснювати дозоване подання суміші при її розвантаженні безпосередньо в конструкцію.

У автобетонозмішувачах можна перевозити як суху, так і готову суміш. При перевезенні сухої суміші в автобетонозмішувач завантажують дозуванні сухі компоненти. Вода поступає у барабан в дорозі виходи з водяного бачка. Початок перемішування призначають залежно від відстані перевезення, зазвичай не раніше чим за 5...10 мін до доставки на пункт призначення. В умовах підвищеної вологості зовнішнього середовища дальність транспортування сухої суміші зазвичай не повинна перевищувати 100... 120 км, оскільки в результаті контакту сухої суміші з вологим заповнювачем, абсорбції вологи з повітря і, як наслідок, достроковій гідратації цементу



якість бетонної суміші, що перевозиться в автобетонозмешувачах, суттєво погіршується вже через 2...3 ч перевезення. Є рекомендації, що передбачають пошарове завантаження зафіксованого барабана автобетонозмішувач через бічний завантажувальний отвір, що дає можливість уникнути контакту цементу усією своєю масою з вологими заповнювачами. Проте цей спосіб, що вимагає наявності у барабані завантажувального люка і пристрою для його відкривання і закривання, подовжує і ускладнює завантаження і тому мало використовується[23].

Зарубіжні фірми іноді практикують перевезення в автобетонозмішувачах компонентів бетонної суміші, перемішаних з невеликою порцією води. Утворену таким чином вологу масу (шринк-бетон) можна перевозити на дещо більші відстані, ніж готову суміш. З наближенням до місця розвантаження у барабан додають воду до норми. Проте цей метод порівняно складений і тому не може бути рекомендований для використання у вітчизняній практиці [23].

Доставляти легкобетонні суміші із заводу товарного бетону на об'єкт рекомендується в автобетонозмішувачами, в яких можна транспортувати не лише готову бетонну суміш, але і частково приготовану суху, а також додатково перемішувати її перед вивантаженням для підвищення однорідності і відновлення рухливості.

Тривалість транспортування готової легкобетонної суміші в автобетонозмішувачах залежно від її початкової рухливості і температури навколишнього повітря не повинна перевищувати 45-60 при використанні водонасичених і 30-40 хв. - сухих заповнювачів. При більшій тривалості транспортування необхідно збільшити початкову рухливість бетонної суміші, що готується на заводі, що веде до перевитрати цементу і підвищення собівартості бетону. Щоб уникнути цього, легкобетонну суміш додають в сухому вигляді або частково приготованому. При використанні водонасичених пористих заповнювачів матеріали у бетонозмішувальний барабан завантажують в такому порядку: водонасичений пористий

заповнювач, щільний пісок і цемент. Перед поданням води зачинення сипкі матеріали перемішують впродовж 3-5 хв. Вода зачинення з водяного бака при обертанні барабана із швидкістю 6-10 про/хв. Тривалість перемішування для отримання однорідної легкобетонної суміші - 15-20 хв. [1,2,18].

Подання і укладання бетону в різні споруди виконують, як правило, із застосуванням кранів веж і самохідних, стрічкових конвеєрів, бетононасосів, пневмонагнетателів, бетоноукладачів, вібротранспорту.

Укладання бетонної суміші за допомогою кранів, бетоноукладачів, лотків використовується при укладанні до 50 м<sup>3</sup> в зміну, за допомогою бетононасосів - при будь-яких об'ємах, але економічно доцільне його застосування при укладанні не менше 45 м<sup>3</sup> бетонної суміші в зміну.

До недавнього час у більшості випадків бетонування монолітних конструкцій робили за схемою «кран-цебер». Але останнім часом широке поширення отримало напірне бетонування за допомогою бетононасосів. Воно має ряд переваг[23] :

- можливість безперевантаження доставки бетонної суміші безпосередньо до місця укладання без втрати її якості, у тому числі в недоступні або важкодоступні для інших видів місця;

- можливість ефективного розподілу бетонної суміші за допомогою наданих бетононасосам стріл-маніпуляторів;

- безперервність подання бетонної суміші, що дозволяє при достатньому фронті робіт підвищувати інтенсивність бетонування і, що дуже істотно, зводити конструкцію без технологічних перерв і, отже без облаштування швів;

- захищеність бетонної суміші, що транспортується, від дії зовнішнього середовища;

- відсутність значних вертикальних динамічних навантажень, які мають місце при розвантаженні з цебрів і у ряді випадків є причиною обвалення опалубки і підмостей;

– можливість бетонування масивних і протяжних заглиблених в ґрунт конструкцій без облаштування автомобільних естакад.

Якщо доставлена на будівельний об'єкт бетонна суміш подається кранами в цебрах і вивантажується в опалублену бетоновану конструкцію. Основні технологічні вимоги, що пред'являються до цебрів: герметичність, виключення втрат цементного розчину; зручність завантаження, розвантаження, очищення; мінімальна маса і вертикальний розмір цебра в робочому положенні; регульоване вивантаження бетонної суміші, що особливо необхідно при бетонуванні армованих і протяжних конструкцій; правильність розташування, надійність і зручність в експлуатації строповочних петель.

Практика показала, що за інших рівних умов виробництва бетонних робіт виробітку одного бетонника при використанні автобетононасосів зростає приблизно удвічі, а при укладанні суміші у важкодоступні для подання крану місця - в 3-5 разів.

До числа безперечних технологічних переваг напірного бетонування, слід віднести і порівняно високі вимоги до якості бетонної суміші. Ця обставина накладає жорсткі технологічні обмеження на увесь технологічний ланцюжок, включаючи приготування бетонної суміші, її доставку на будівельний майданчик і укладання її в конструкцію, і, отже, сприяє примусовій технологічній нормалізації усього процесу бетонування. Застосування напірного бетонування посилює і вимоги до конструкції опалубок в частині підвищення їх жорсткості і міцності, оскільки на бічні елементи опалубки залежно від інтенсивності бетонування може діяти значний тиск розпору.

Оскільки напірне бетонування здійснюється машинами безперервної дії, його найдоцільніше використати за наявності на об'єкті великих зосереджених об'ємів бетонних робіт. В той же час, як показала вітчизняна і зарубіжна практика, якщо бетононасоси мають мобільне виконання (змонтовані на автомобілі, самохідному або причіпному шасі) і оснащені

спеціальними пристроями для розподілу бетонної суміші, їх застосування може виявитися економічно виправданим і в умовах розосередженого будівництва при обмежених об'ємах бетонних робіт [2,4,6].

Порівняння відносної собівартості подання бетонної суміші в конструкції різними технологічними комплектами машин показано на рис.2.9.

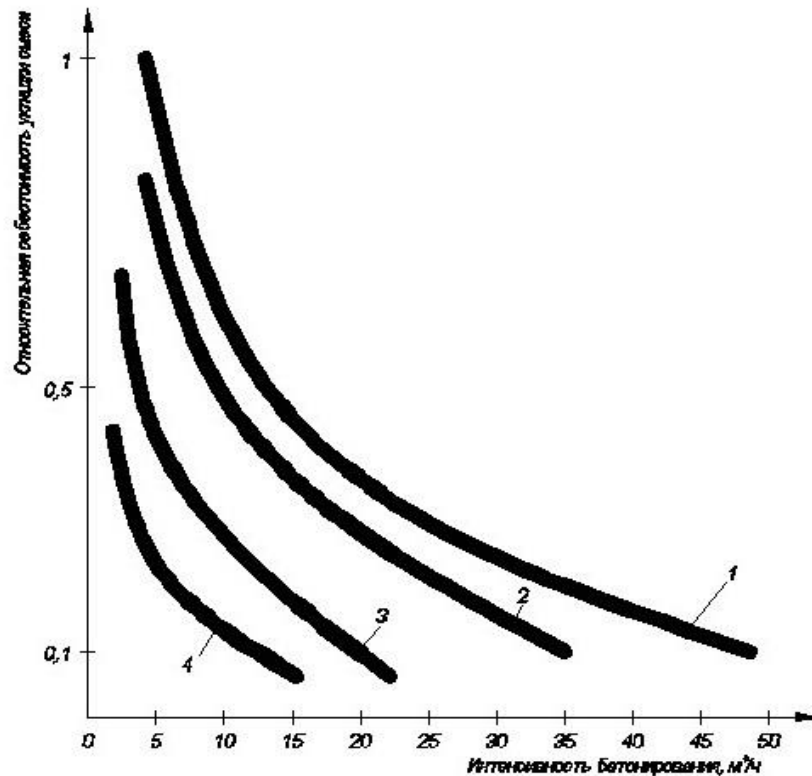


Рисунок 2.9 - Зміна відносної собівартості укладання бетонної суміші різними технологічними комплектами.

1-бетонна насосна установка «Штеттер» з бетоносмесителем СБ-69; 2-те ж, АБН-60 і СБ-69; 3-схема «кран-цебер»; 4-стрічковий бетоноукладач ЛБУ-20 і СБ-69.

Однією з умов отримання високоякісного бетону із заданими фізико-механічними властивостями (міцність, щільність, водонепроникність, морозостійкість та інше) є якісне ущільнення бетонної суміші. Його можна здійснювати:

– вібрацією в процесі укладання бетонної суміші (в цьому випадку забезпечується також і необхідна міра її легкоукладаємості);

– методом укочування в процесі укладання бетонної суміші; методом вакуумування укладеної бетонної суміші відразу після її укладання.

До ущільнення бетонна суміш є багатокомпонентним конгломератом з рихлою структурою і пружно в'язкими властивостями. Вона містить значну кількість повітря : в суміші жорсткої консистенції об'єм повітря досягає 40...45%, в пластичній - 10... ...15%. Орієнтовно ж можна вважати, що кожен відсоток повітря в суміші зменшує міцність бетону на 3...5%. Завдання ущільнення бетонної суміші полягає у видаленні повітря і поліпшенні внаслідок цього структури бетону.

Вібраційне ущільнення бетонної суміші. Механізм вібраційного ущільнення бетонної суміші наступний. Під впливом вібрації частки бетонної суміші здійснюють вимушені коливання, при цьому спонукаюча енергія витрачається на визначення сил тертя і зчеплення між частками, отже, на руйнування структури цементного тіста. При вібрації частки суміші під дією гравітаційних сил перегруповуються, прагнучи зайняти по відношенню один до одного стійкіше положення, і відбувається щільніша «упаковка» часток суміші. Одночасно під впливом цього чинника і що виникає в зоні вібрації підвищеного тиску затиснені бульбашки повітря витісняються з бетонної суміші. В результаті покращується структура бетону.

При зіставленні технологічної ефективності вібраторів різного типу враховують два критерії: хвилевий тиск на бетонну суміш і частоту коливань вібратора. Частота коливань визначає міру тиксотропності цементного тіста, а хвилевий тиск активізує внутрішні сили взаємодії в його структурі і сприяє ущільненню бетонної суміші.

Режим вібрації бетонної суміші характеризується пов'язаними між собою параметрами - амплітудою частотою коливань, а також тривалістю вібрації. При цьому чим нижче частота коливань, тим більше амплітуда.

За способом передання коливань на бетон розрізняють вібратори: внутрішні (глибинні), занурювані робочим органом у бетонну суміш;

зовнішні, прикріплені до опалубки і передавальні через неї коливання на суміш; поверхневі, встановлювані на бетоновану поверхню і передавальні коливання на шар, що укладається.

При облаштуванні важких дорожніх покриттів і потужних плит, бетонуванні гребель і в ряді інших випадків, коли зважаючи на великих об'ємів укладання бетону вирішальними чинниками є інтенсивність бетонування і скорочення вартості будівництва, успішно використовують метод ущільнення бетону, як укочення.

Практика ущільнення бетонної суміші методом укочення дозволяє рекомендувати бетонування масивних конструкцій з кладкою суміші двома трьома шарами завтовшки 200-700 мм залежно від потужності катка. При цьому по кожному шару каток перші два проходи виконує без вібрації, а подальші з вібрацією. Число проходів катка встановлюють експериментально залежно від складу суміші, товщини шару і потужності катка.

Ущільнення бетонної суміші вакуумуванням. Вакуумування бетонної суміші при бетонуванні тонкостінних конструкцій є одним з ефективних технологічних методів її ущільнення. Він дозволяє витягнути з укладеної і вже ущільненої суміші близько 10...20% надмірної (вільної) води зачнення і внаслідок цього істотно поліпшити фізико-механічні властивості бетону. Вакуумування здійснюють за допомогою вакуум-установки, яка створює розрідження, і приєднаних до неї поверхневих або внутрішніх приладів вакуумування.

Вакуумування бетонної суміші в порівнянні з іншими методами ущільнення (для певного класу конструкцій) має ряд техніко-економічних переваг. До них відносять наступне:

- можливість досягнення відразу після вакуумування міцності бетону 0,3...0,5 МПа, достатньою для часткового або повного розпалублення бетонованої конструкції, затирання, залізнення або іншої обробки поверхонь;
- прискорення тверднення бетону, при якому міцність при стискуванні вже у віці 1...2 дня збільшується на 40.60 %, а у віці 5... 7 днів - на 35. .40%.

За даними деяких зарубіжних фірм, вакуумування дозволяє без додаткової витрати цементу підвищити міцність на стискування бетону в 28-денному віці (в умовах природного тверднення) на 25. . .40% і на вигин - на 30%;

- зменшення у вакуумованому бетоні в порівнянні з тим що вібрували усадкових деформацій;

- підвищення морозостійкості бетону, оскільки вакуумування зменшує водопоглинання бетону на 20.25% і капілярний підсос в 2-3 рази [1,4,6,11,23].

Бетонні суміші на пористих заповнювачах укладають за такою технологією. Щоб уникнути розшарування, а також порушення структури легко бетонних сумішей їх необхідно вивантажувати безпосередньо з автобетонозмішувачі і автобетоновозів або змішувачів-перевантажувачів в переносні бункери.

Висота вивантаження легкобетонної суміші з бетоноукладаємих засобів не повинна перевищувати при бетонуванні конструкцій: вертикальних - 1,5, горизонтальних - 0,7м. Трудомісткість укладання легкобетонної суміші вища, ніж трудомісткість укладання важкої внаслідок зменшення часу її витримки до укладання в опалубку (для збереження підвищеної легкоукладаємість). Крім того, при вивантаженні литої легкобетонної суміші з автотранспортних засобів і при поданні її бетоноукладочним устаткуванням неминуче відбувається часткова втрата рідкої фази, що містить пластифікуючи добавку, що веде до пониження легкоукладаємі суміші. Тому при литному укладанні доцільно використати бетононасосные установки. При перекачуванні легкобетонних сумішей у міру підвищення тиску і збільшення тривалості процесу зростає водовбирна здатність пористого заповнювача, і суміш зневоднюється. В результаті змінюються її структурно-механічні і реології властивості, погіршується режим руху суміші по трубах і удобоперекачування.

Максимальний розмір зерен великого заповнювача для важких бетонів - 40 мм, для легеньків - 20, але не більше 1/3 діаметру трубопроводу вживаної

бетононасосной установки. Зміст фракцій великого заповнювача визначається гранулометричним складом заповнювачів (рис.2.10), який дозволяє отримувати бетонні суміші із заданими властивостями при мінімальній витраті цементу. Коефіцієнт розсунення зерен заповнювачів цементним тестом (з урахуванням залученого повітря) приймають рівним 1,16...1,26.

Висока рухливість бетонних сумішей досягається введенням хімічних добавок. Вибір добавок і їх концентрації необхідно робити виходячи з умови отримання максимального технічного і економічного ефекту від їх застосування з урахуванням вимог, що пред'являються до технології бетонних робіт і до бетону будівельних конструкцій.

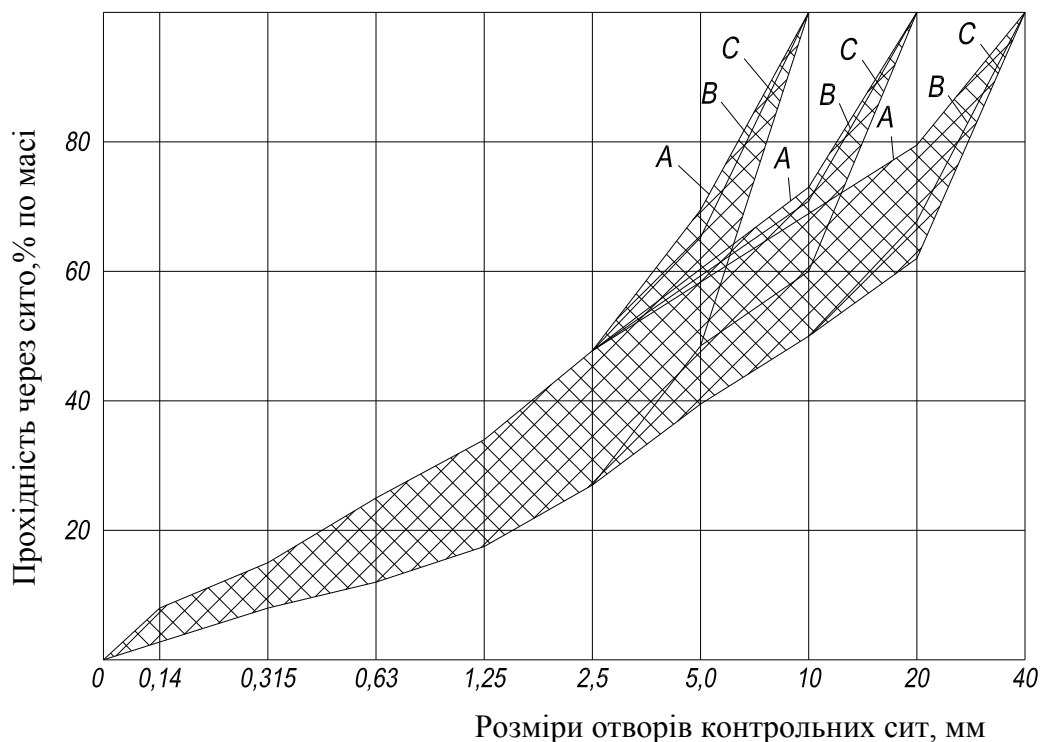


Рисунок 2.10 - Гранулометричний склад суміші і заповнювачів для високорухливих і литих бетонних сумішей з добавками: А, В, С - граничні значення для сумішей відповідно рухливості 20...22, 16...18, 12...15 см.

Встановлено, що чим менше вводиться в легко бетонну суміш води для компенсації водовбирної здатності пористих заповнювачів, тим менше



витрата цементу. Тому доцільно домагатися максимального зниження водовбирної здатності пористих заповнювачів їх попереднім водонасиченням.

Із-за підвищення внутрішнього тертя і опору зрушенню, а також змісту повітря легкобетонної суміші при укладанні і необхідності якісного заповнення елементів конструкцій із складною конфігурацією і насичених арматурою вузлів слід піддавати суміш короткочасній високочастотній (160-200Гц) віброобробці. Для цього використовують глибинні вібратори. Товщину шару обробленою легкобетонній суміші приймають 20...25 см.

При бетонуванні плоских конструкцій з легкого бетону слід мати на увазі, що зерна великого пористого заповнювача із-за меншої щільності можуть спливати. Тому для отримання рівної горизонтальної поверхні без подальшого облаштування цементного стягування застосовують спеціальні перфоровані настили і гратчастий ролик, за допомогою яких частки утоплюють, що спливали, у бетонну суміш, дозволяючи розчину піднятися до утворення рівного поверхневого шару. Щоб запобігти розшаруванню литої легкобетонної суміші і спливанню пористого заповнювача при віброущільненні, в суміш вводять повітряне утягуючі добавки в комплексі з пластифікаторами. Після закінчення укладання і розрівнювання на горизонтальній поверхні забетонованих конструкцій іноді утворюється суцільний тонкий шар води, який через 20...30 мін знову поглинається бетоном. Це погіршує якість, знижує міцність, морозостійкість і зносостійкість поверхневого шару бетону. Видалити воду, що виділилася, можна вакуумуванням бетонної поверхні або вібромеханізмом. На поверхні бетону укладають фільтрувальний матеріал(бавовняні тканини), а на нього перфорований лист або сітку. Під впливом переміщуваного по сітці вібромеханізму вода з поверхневого шару бетону віджимасться через фільтрувальний матеріал і сітку і поступає у водозбірник. Цей спосіб застосовують переважно при облаштуванні перекриттів і теплоізоляційних стягувань.

Вакуумування монолітних конструкцій з легкого бетону ефективніше, ніж з важкого, оскільки при цьому відсисаються вода і повітря не лише з бетонної суміші, але і з пористого заповнювача, що підвищує його капілярну контракцію. В результаті ущільнюється структура бетону і посилюється зчеплення цементного каменю з пористим заповнювачем. Кількість води, що відсисається з легкобетонної суміші, більше, ніж з рівно рухливої важкої. Для підвищення інтенсивності вібровакуумування легкого бетону доцільно створювати розрядку у вакуум-щитах не менше 0,07 МПа.

Легко бетонні суміші вимагають ретельнішого перемішування, тому трудомісткість їх приготування дещо вищій, ніж важких. Проте при використанні заздалегідь водонасичених пористих заповнювачів тривалість перемішування легко бетонних сумішей така ж, як і для сумішей на щільних заповнювачах[1,4,6,11,13,17].

При скороченні об'ємів робіт по зведенню монолітних конструкцій в результаті заміни важкого бетону легенею зменшуються кількість бетону, що укладається у бетоновані конструкції, і відповідно витрати на його приготування, транспортування із заводу на об'єкт, подання і укладання.

Укладання легкобетонних сумішей при зведенні монолітних стін в тій, що ковзає і переставній опалубках здійснюють аналогічно літньому укладанню важкого бетону. Інтенсивність бетонування призначають залежно від тривалості досягнення бетоном мінімальної розпалубочної міцності. Для прискорення досягнення розпалубочної міцності застосовують термообробку, добавки-прискорювачі тверднення, просочення пористих заповнювачів розчинами добавок-прискорювачів, обігрів конструкцій гарячим повітрям та інші [6,23].

При температурі навколишнього повітря  $+5^{\circ}\text{C}$  бетонні суміші різко знижують набір міцності. Процес протікання реакції гідратації сповільнюється, а при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$  хімічно незв'язана вода перетворюється на лід. Як наслідок у бетоні виникає напруга, що руйнує його структуру, і бетон не може набрати проектної міцності[23].

Необхідний температурний режим тверднення бетону створюють різними прийомами: підігріванням бетону в процесі приготування, витримкою в утеплених опалубках (метод термоса), внесенням у бетон хімічних добавок, що знижують температуру замерзання, тепловою дією на свіжоукладений бетон гріючих опалубок, електродним прогріванням, а так само інфрачервоними джерелами тепла.

Технологічний прийом вибирають з урахуванням умов бетонування, виду конструкцій, особливостей використовуваних бетонів, економічної ефективності.

Головна причина припинення тверднення бетонних сумішей при дії низьких температур - замерзання в них води. Наявність у воді солей різко знижує температуру її замерзання. Тому в якості протиморозних добавок застосовуються: нітрит натрію (НН)  $\text{NaNO}_2$ , хлорид кальцію (ХК)  $\text{CaCl}_2$  + хлорид натрію (ХН)  $\text{NaCl}$ , хлорид кальцію (ХК) + нітрит натрію (НН), нітрат кальцію (ПК)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + сечовина (М)  $\text{C}(\text{NH}_2)_2$ , комплексне з'єднання нітрату кальцію з сечовиною (НКМ), нітрит-нітрат кальцію + сечовина (М), нітрит-нітрат кальцію (ННК) + хлорид кальцію (ХК), нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК) + сечовина (М), поташ (П)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  [6,11,16].

Для забезпечення тверднення бетону при негативних температурах до його складу слід вводити протиморозну добавку, вибрану з урахуванням очікуваної негативної температури і даних по наростанню міцності бетону.

Вибір протиморозних добавок і їх оптимальна кількість залежать від виду бетонованої конструкції, міри її армування, наявності агресивних середовищ і блукаючих струмів, температури довкілля. Сфери застосування добавок представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Сфера застосування добавок до бетонів \*.

Тип конструкції і умови їх експлуатації	Добавки								
	НН	ХК+ХН	ХК+НН	ПК+М	НКМ	ННК+М	ННК+ХК	ННХК+М	П
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Заздалегідь-напружені конструкції, окрім вказаних в поз.2 справжніх таблиці, стики збірно-монолітних і збірних конструкцій з не напруженою арматурою	-	+	+	(+)	-	-	+	-	+
2. Заздалегідь напружені конструкції армовані сталлю класів А - IV, А - V, А - VI.	-	+	+	-	-	-	-	-	+
3. Залізобетонні конструкції з не напруженою арматурою діаметром									
а) більше 5мм	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
б) 5мм і менш	-	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+
4. залізобетонні конструкції, а також стики без напруженої арматури збірно-монолітних і збірних конструкцій, що мають випуск арматури або заставні деталі									
а) без спеціального захисту стали;	-	+	+	+	-	-	+	+	+
б) з цинковими покриттями по сталі;	-	-	+	-	-	-	+	-	+
в) з алюмінієвими покриттями по сталі;	-	-	+	(+)	-	(+)	-	-	+
г) з комбінованими покриттями (лугостійкими лакофарбними або іншими по металізації підшаровуватиму), а також стики без заставних деталей і розрахункової арматури .	(+)	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+

продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.Збірно-монолітні конструкції з оконтуриваючих блоків завтовшки 30см і більше з монолітним ядром	-	+	+	+	+	+	+	+	+
6 Залізобетонні конструкції, призначені для експлуатації :									
а) в неагресивних газових середовищах;	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
б) в агресивних газових середовищах;	-	+	+	+	(+)	(+)	+	***	+
в) в неагресивних і агресивних водних середовищах, окрім вказаних у позиції бг:	+	+	+	+	+	+	+	***	+
г) в агресивних сульфатних водах і в розчинах солей і їдких лугів за наявності випарювальних поверхонь;	-	+	+	-	-	-	+	-	+
д) в зонах змінного рівня води;	-	+	+	+	-	-	+	-	+
е) у водних і газових середовищах при відносній вологості більше 60% за наявності в заповнювачі включень реакційно-здібного кремнезему;	****	-	+	+	-	+	-	-	+
ж) в зонах дії блукаючих постійних струмів від сторонніх джерел	-	+	+	+	-	-	+	+	+
7. Залізобетонні конструкції для електрифікованого транспорту і промислових підприємств, споживаючих постійний електричний струм	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<p>Умовні позначення:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• + доцільність введення добавки;</li> <li>• (+) доцільність введення добавки тільки в якості прискорювача тверднення;</li> <li>• - заборона введення добавки</li> </ul>									

## продовження таблиці 2.2

\* При співвідношенні компонентів 1: 1 по масі з розрахунку на суху речовину.

\*\* Допускається у поєднанні з добавкою уповільнювача схоплювання.

\*\*\* Не допускається, за винятком ХК і ХЖ, у бетонних конструкціях.

## Примітки:

1. Можливість застосування добавок по поз. 1-4 справжніх таблиці повинна уточнюватися з урахуванням вимог поз. 6, а по поз. 1-3 - за наявності захисного покриття по сталі - з вимогами поз. 4.
2. Обмеження по застосуванню бетонів з добавками по поз. 4 і поз.бг, е, а також по поз. бд справжньої таблиці для бетонів з добавкою поташу поширюються і на бетонні конструкції.
3. По поз. бб справжньої таблиці в середовищі, що містить хлор або хлористий водень, ущільнюючі добавки, прискорювачі тверднення і протиморозні добавки, за винятком НН і ННК, допускаються за наявності спеціального обґрунтування.
4. Показники агресивності середовища встановлюються по ДБН В.2.6-14-97, наявність блукаючих постійних струмів від сторонніх джерел включення реакційно спосібного кремнезему в заповнювачах - по ГОСТ 8735-88 «Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань» і Посібнику по застосуванню бетонів з протиморозними добавками.
5. До бетону конструкцій, що піддаються періодичному зволоженню водою, конденсатом або технологічними рідинами, повинні пред'являтися такі ж вимоги, як і до бетону конструкцій, експлуатованих при відносній вологості повітря більше 60%.
6. При виготовленні масивних конструкцій з бетону з тими, що ущільнюють, прискорюють тверднення і протиморозними добавками слід передбачати заходи, що знижують температуру бетону і запобігають розтріскуванню конструкцій.

Добавку НЖ забороняється застосовувати у бетонах, що піддаються тепловій обробці або періодичному нагріванню вище 70°C при експлуатації.

Бетон з протиморозною добавкою ФН-С допускається застосовувати при створенні таких умов витримки, щоб до моменту його охолодження до температури  $-20^{\circ}\text{C}$  він придбавав міцність не менше 20% від проектної.

Рекомендована кількість протиморозних добавок представлена в таблиці 2.3. При приготуванні бетону (розчину) добавку необхідно розчинити в теплій воді. Отриманий розчин додається разом з водою зачинення[1,6,10,11].

Таблиця 2.3 - Рекомендована кількість протиморозних добавок.

Розрахункова температура бетону, $^{\circ}\text{C}$		Кількість добавок з розрахунку на суху речовину, % маси цементу						
від	до	НН	ХН +ХК	НКМ, ннрии	ПК+М, ННК+М	ННХК НН+ ХК* ХК+ ННК*	ННХК +М	П
0	-5	4-6	3+0÷ 3+2	3-5	3+1÷ 4+1,5	3-5	2+1÷ 4+1	5-6
-6	-10	6-8	3,5+ 1,5÷ 4+ 2,5	6-9	5+1,5 ÷7+ 2,5	6-9	4,5+ 1,5÷7 +2,5	6-8
-11	-15	8-10	3+ 4,5÷ 3,5+ 5	7-10	6+2÷ 8+3	7-10	6+2÷ 8+3	8-10
-16	-20	-	2,5+ 6÷3 +7	9-12	7+3÷ 9+4	8-12	7+2÷ 9+4	10-12
-21	-25	-	-	-	-	10-14	8+3÷ 10+4	12-15

Практично усі протиморозні хімічні добавки забороняється використати:

- при бетонуванні заздалегідь напружених конструкцій, армованих термічно зміцненою сталлю;
- при зведенні залізобетонних конструкцій для електрифікованих залізниць і промислових підприємств, де можливе виникнення блукаючих струмів.

Внесення хімічних добавок призводить до деякого уповільнення набору міцності бетоном порівняно зі швидкістю тверднення бетону в нормальних умовах. Так, при внесенні поташу бетон у віці 28 діб при температурі навколишнього повітря  $-25^{\circ}\text{C}$  набирає міцність 50% від розрахункової, а у віці 90 діб - 60%. При більш високій температурі навколишнього повітря ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) бетон набирає міцність інтенсивніше: до 28-добового віку міцність бетону в конструкції може складати 75% від розрахункової (рис. 2.11).

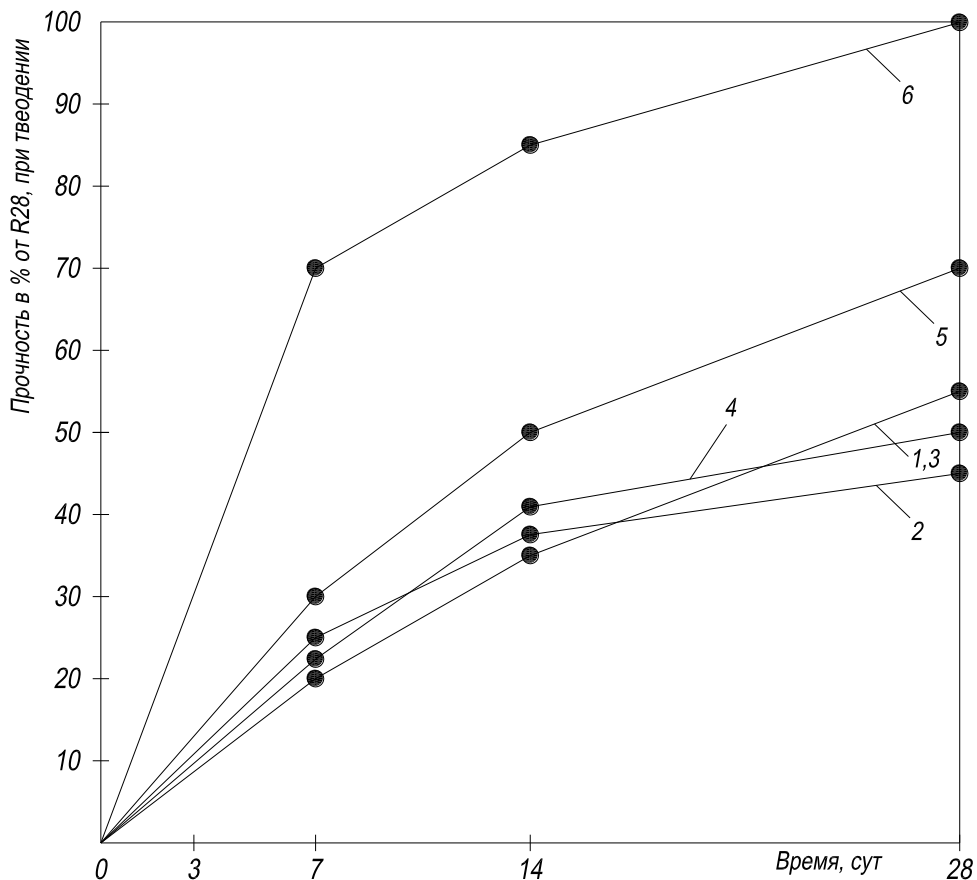


Рисунок 2.11 - Кінетика набору міцності в % від R28, при твердненні бетону на  $-10^{\circ}\text{C}$  від введення хімічної добавки: 1-НН; 2-ХН+ХК; 3-НМК, НХ+М, ННК+М; 4-ННХК, КХ+НН, ХК+ННК, ННХК+М; 5-П, П+ПСБ, П+ТБН; 6-нормальні умови тверднення.



Деякі добавки (хлористі солі) погіршують якість поверхні конструкцій, що зводяться, внаслідок утворення висолів, тому їх застосовують при зведенні споруджень невеликих об'ємів, до якості поверхонь яких не пред'являють високих вимог [1,11,17].

Необхідною складовою будівельних робіт, що проводяться взимку при мінусовій температурі, є обігрів бетону. До складу суміші входить вода, кристалізація якої впливає на структуру цементу руйнівним чином. Це призводить до втрати міцності, розлому будується конструкції.

Прогріти розчин можна різними способами, найбільш ефективними з них вважаються:

- електричний (проводом, кабелем);
- електродний;
- термос.

Підтримати оптимальну температуру суміші можна використовуючи інфрачервоні промені або вихрові потоки електромагнітного індуктора. Вибір залежить від індивідуальних особливостей споруди, умов виробництва.

Розглянемо найбільш популярний метод – метод електричного обігріву бетону, застосовується при негативних температурах, підходить для фундаментів, колон, перекриттів, стін, різних форм і розмірів. Процес полягає в передачі тепла розчину від нагріваються проводів.

Спеціальний провід для обігріву бетону з перетином від 1,2 мм до 3 мм укладається всередину конструкції, що заповнюється сумішшю, не торкаючись опалубки, не виходячи за рівень розчину. Його кінці виводяться після сполучення гарячого і холодного елементів. Щоб зберегти теплове поле, місце з'єднання необхідно закрити металевією фольгою. Електричний струм, що має певне значення, пускається по дроту після заливки об'єкта. В результаті процедури суміш нагрівається зсередини. Електрошнур залишається в застиглій конструкції.

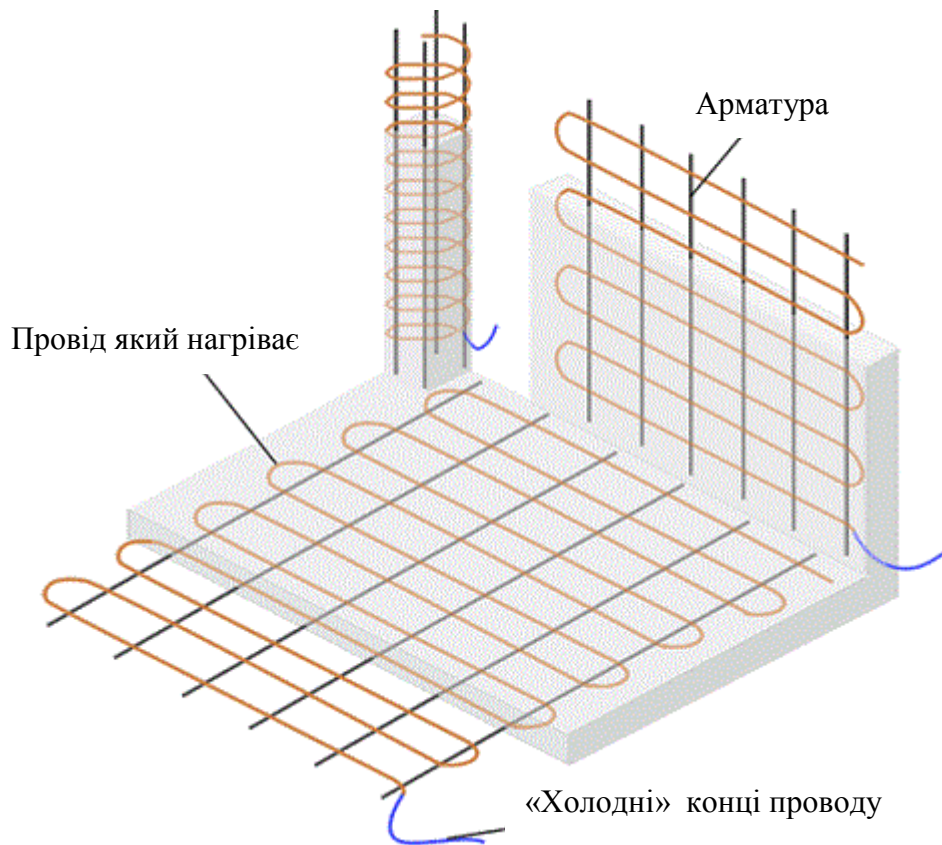


Рисунок 2.12 - Метод електричного обігріву конструкцій

Гріє елемент має одну схему укладання для різних конструкцій. Температура повітря і характеристики проводу впливають тільки на розмір петлі.

Прогрів бетону передбачає використання наступних типів проводів.

- одножильний (ПНСВ).
- двожильний (ПТПЖ).
- двожильний кабель (ВЕТ).

Провід ПНСВ, нарізаний на шматки потрібної довжини, підключається через понижуючий трансформатор. Кабель ВЕТ зазвичай має певну величину і підключається до мережі 220В. Дуже важливо виключити можливість перегріву і короткого замикання. Для цього попередньо робляться розрахунки напруги, що подається в певний відрізок часу. Монолітний об'єкт набере понад 65% міцності за кілька днів, якщо дотримуватися при обігріві

всі рекомендації. Щоб прогріти 1 м<sup>2</sup> розчину, потрібно близько 55 метрів ПНСВ, або 23 метрів ВЕТ.

Переваги електричного обігріву:

- економічність;
- максимальний ККД.
- мінуси методу:
  - додаткове оснащення;
  - електропровід можна використовувати один раз;
  - складна укладання.

Під час процесу будуть потрібні захисні засоби, провід з холодними елементами, кабель магістральний, трансформатор понижуючий.

При розрахунку різних методів прогріву враховується площа і тип конструкції, кількість розчину, електрична потужність, необхідна для проведення процесу. Ці параметри потрібні для визначення кількості, довжини проводу. Обов'язково виконується розробка технічної карти кожної конструкції. Процес проходить під регулярним контролем, при якому враховується час прогріву і застигання бетону.

## **2.6 Витримування, догляд за бетоном та розпалублення**

Відповідно до нормативних документів, під час догляду за укладеним бетоном у початковий період його тверднення необхідно підтримувати сприятливий температурно-вологий режим, запобігати значному температурно-осідальному деформуванню і оберігати від механічних пошкоджень.

Заходи щодо витримування й догляду за бетоном передбачають у проекті виконання робіт. У літній період поверхню свіжоукладеного бетону захищають від впливу прямих сонячних променів і вітру.

Цього досягають шляхом укриття бетонної поверхні брезентом або мішковиною, які забезпечують підтримання вологого стану. У разі якщо брезенту або мішковини немає, поверхню бетону закривають шаром вологої тирси, яку укладають через 3...4 год. після укладання бетонної суміші і поливають розсіяним струменем води з розпилувача до 5 разів на день. Догляд продовжують протягом 7...14 днів залежно від погоди й різновиду використовуваного цементу до набуття бетоном міцності 50...70 %.

В осінній та весняний періоди, якщо температура повітря  $+5^{\circ}\text{C}$  і нижче, на будівельному майданчику влаштовують склад матеріалів для утеплення відкритих поверхонь бетону. Час витримування укритого бетону призначають, урахувавши зростання міцності укладеного бетону, яку визначають у будівельній лабораторії за результатами випробувань контрольних зразків [23].

Рух людей по забетонованих конструкціях, а також встановлення на них риштування й опалубки для зведення верхніх конструкцій допускається тоді, коли міцність бетону буде не нижче 0,15 МПа.

Розпалублюють конструкції після набуття бетоном міцності, що забезпечує збереження кутів, крайків і поверхонь. Терміни розпалублення обумовлюються режимом тверднення і маркою бетону, різновидом цементу й конструктивними особливостями елементів.

Мінімальна міцність бетону ненавантажених монолітних конструкцій під час розпалублення поверхонь має бути такою: – вертикальних за умови збереження форми – 0,2...0,3 МПа; – горизонтальних і похилих, якщо прогін до 6 м – 70 % проектної, понад 6 м – 80 % проектної

Мінімальна міцність бетону під час розпалублення навантажених конструкцій визначається ПВР і узгоджується з проектною організацією. За наявності несучих зварних армокаркасів опалубку знімають, коли бетон набуде 25 % проектної міцності.

Послідовність розпалублення зазвичай зворотна опалубленню, за винятком випадків, спеціально обумовлених у технологічних картах і

проектах виконання робіт. Перед повторним використанням елементи опалубки очищають від бетону, оглядають і ремонтують. Формувальні поверхні щитів змащують. Після розпалублення із залізобетонних конструкцій часто виявляються дефекти бетонування. Вони виникають унаслідок застосування неякісних матеріалів, зношеної опалубки, порушення технології виконання бетонних робіт або недоліків конструктивних рішень.

Після розпалублення виконавець робіт повинен ретельно оглянути стан відкритих поверхонь бетонних і залізобетонних конструкцій, перевірити конструкції на наявність прихованих дефектів, простукавши їх звичайним молотком. Встановлені дефекти усувають.

Ефективним способом вирішення сучасної технології бетонування монолітних будівель є застосування бетоноукладального комплексу. До складу комплексу належать автоматизовані бетонозмішувальні установки, автобетонозмішувачі, бетононасосні установки й автономні розподільні стріли. Застосування бетоноукладального комплексу забезпечить досягнення повної механізації під час виконання процесів приготування, доставляння та укладання бетонних сумішей. До того ж використання суперпластифікаторів у бетонній суміші дає змогу укладати їх без віброущільнення[23].

Широке застосування в монолітному будівництві методу торкретування забезпечує зниження витрат бетону, архітектурну виразність будівель і прискорює розвиток індустріального домобудівництва.

Щоб забезпечити раціональну організацію будівництва монолітних будівель, створюють приоб'єктні полігони й бази монолітного будівництва.

### 3 КОНСТРУКЦІЙНІ БЕТОНИ З ВИСОКИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Найбільш повно сучасні можливості технології бетону були розкриті при створенні так званих бетонів нового покоління, які концептуально об'єднані під терміном «високофункціональні бетони» (High Performance Concrete -HPC). Під цим терміном розуміють бетони, що відповідають комплексу спеціальних взаємопов'язаних вимог до складу, технології і властивостей, які при традиційних підходах не завжди досягаються . За визначенням ці бетони мають повністю відповідати конкретному призначенню та умовам експлуатації [4,7,12].

Інтерес до високофункціональних бетонів (HPC), як до бетонів нового покоління пов'язаний значно більшою мірою з їх високою довговічністю і економічністю, ніж з високою міцністю. Так прогнозований строк їх служби перевищує 100 років .

Можливим є також отримання супердовговічних бетонів з терміном служби 500 років . Відмічається, що висока довговічність і міцність бетонів нового покоління забезпечується навіть при використанні високорухливих і литих бетонних сумішей, це визначає їх значні технологічні і економічні переваги у порівнянні з традиційними .

Але внутрішнє протиріччя полягає в тому, що на сучасному етапі розвитку технології підвищення довговічності бетонів нерозривно пов'язане із зменшенням значень водо-цементного відношення (В/Ц) за рахунок використання суперпластифікаторів, що неминує веде до отримання високих показників міцності . При цьому питання забезпечення довговічності бетонів з регульованими показниками міцності, в тому числі «традиційними» для практики сучасного будівництва в Україні залишаються відкритими.

Бетони нового покоління, що за визначенням повністю відповідають призначенню, підлягають такій класифікації[18,19,20]:

- а) литі бетони та ті, які здатні до самовирівнювання та самоущільнення;
- б) торкрет - бетони;
- в) високоміцні бетони;
- г) бетони, які вміщують велику кількість доменних гранульованих шлаків, або золи-виносу;
- д) реакційно - порошкові бетони.

### 3.1 Литі бетонні суміші

Поняття «литі бетонні суміші» (ЛБС) з'явилося на початку 70-80-х років, коли стали застосовуватися спочатку хімічні добавки пластифікатори, а потім і суперпластифікатори, що впливають на цемент і дозволяють різко розріджувати бетонну суміш до литий консистенції. Такі суміші знайшли своє застосування в густоармованих, тонкостінних і в важкодоступних елементах конструкцій [11,18]. А з використанням бетононасосів, отримала свій розвиток технологія бетонування з використанням бетононаосу, в зокрема напірна [23].

До литих належать бетонні суміші з показником рухливості осідання конуса (ОК) понад 15 см, у яких не спостерігається ознак розшарування й водовидалення. На практиці в разі використання безвібраційних методів формування рекомендується застосовувати литі бетонні суміші, показник рухливості яких  $OK \geq 18$  см.

Питаннями реології литих бетонних сумішей і водоутримуючої здатності були присвячені роботи академіков Ребіндера А.П., Скрамтаєва Б.Г., Гайе І., Ахвердова Н.І, Іванова Ф.М., Баженова Ю.М, Батракова В.Г, Грушко І.М., Кіма К.Н., Красного Ю.М., Файтельсона Л.Н та інших.

Вони відмічали, що перевагами застосування литих сумішей є:

- економія 50...70% трудовитрат на операціях укладання й ущільнення (порівняно із застосуванням сумішей, що потребують вібраційного ущільнення);

- унаслідок поліпшення якості поверхні зниження на 70...85% трудовитрат на затирання й часткове тинькування поверхні бетонних конструкцій (обсяг робіт у разі часткового шпаклювання поверхонь стін для подальшого обклеювання шпалерами скорочується на 75...85%);

- виключення важких операцій із застосуванням ручної праці щодо укладання й вібраційного ущільнення бетонних сумішей і поліпшення гігієнічних умов праці бетонників (виключається вплив вібрації і шуму);

- унаслідок виключення вібраційних впливів збільшення довговічності опалубки;

- економія електроенергії (до 4,3 кВт/м<sup>3</sup>).

Литі бетонні суміші, що застосовуються в монолітному житловому будівництві, мають задовольняти такі вимоги: витрати цементу не повинні перевищувати нормативних витрат для бетонної суміші початкового складу із осіданням конуса 2...5 см; швидкість набору міцності має бути не меншою, ніж для бетонної суміші вихідного складу; технологічні характеристики бетонної суміші (стійкість до розшаровування під час транспортування й укладання, до втрати рухливості під дією кліматичних факторів) повинні бути аналогічними до показників суміші вихідного складу.

Відомі п'ять методів отримання литих бетонних сумішей:

- із використанням суперпластифікаторів для легких і важких бетонів;
- із використанням комплексної домішки – суперпластифікатора (СДБ) і прискорювача тверднення – для легких і важких бетонів;

- із використанням тонкодисперсного наповнювача (ТДН) – для легких бетонів;

- із використанням ТДН і пластифікувальної добавки СДБ – для легких бетонів;



– із використанням ТДН і комплексної добавки (СДБ і прискорювач тверднення) – для легкого і важкого бетонів.

Під час використання пластифікаторів і суперпластифікаторів якість бетонної суміші та бетону потрібно оцінювати такими критеріями:

- міцність 28-денного бетону;
- міцність на початковому етапі (через 2...3 год. тверднення для стін, зведених у ковзній опалубці; через 24...28 год. для стін, зведених у великощитовій і блоковій опалубках; через 48...72 год. для перекриттів, бетонованих у великощитовій і об'ємнопересувній опалубках;
- до того ж необхідно моделювати умови тверднення, наближені до умов будівельного майданчика);
- показник рухливості визначають через 5, 60, 90, 120 хв. після замішування.

Литі важкі бетонні суміші з використанням суперпластифікаторів, пластифікаторів і комплексних добавок перемішують за тією ж технологією, що й звичайні бетонні суміші. Литі легкобетонні суміші, поєднані з добавками, готують за допомогою розподільного змішування складників за такою схемою: цемент + вода з розчиненою пластифікувальною добавкою (або без неї) –перемішування + великий і дрібний заповнювач - перемішування. Така послідовність завантаження й перемішування компонентів підвищує міцність бетону на 7...15 %.

У разі використання автобетонозмішувачів рекомендується готувати бетонну суміш без пластифікувальної добавки, а води має бути менше, ніж розрахункової. На будівельний майданчик вводиться додаткова (порівняно з розрахунковою) кількість води з розчиненою в ній добавкою і перемішується протягом 1...2 хв. Така послідовність операцій обумовлюється обмеженістю терміну пластифікувального впливу деяких суперпластифікаторів. Укладання литих бетонних сумішей зводиться до заливання їх в опалубку; ущільнення відбувається під дією спонукальної вібрації і гравітаційних сил. Заливання опалубки стін і колон литою бетонною сумішшю доцільно проводити за

допомогою бетононасосу або «бункера-голки», обладнаного хоботом. Швидкість бетонування при цьому не повинна перевищувати розрахункову для цієї опалубки. Для пересувних опалубок швидкість бетонування має бути не більшою, ніж 2 м/год. для важкого бетону і 2,5 м/год. – для легкого бетону.

У місцях, де густе армування перешкоджає заповненню опалубки бетонною сумішшю, допускається застосовувати вібрації або штикування.

Нормативна вимога до пошарового укладання для литих бетонних сумішей, що укладаються без вібрації, визначається не за висотою робочого органу вібратора, а лише за розрахунковою швидкістю бетонування для типу опалубки.

Одним із видів бетонів нового покоління освоєні на заводі залізобетонних виробів ПАТ «ДБК-4» АТ ХК "Київміськбуд м. Київ - є литі бетони. Їх доцільно використовувати для перекачування насосом на велику відстань, при влаштуванні безбалочних перекриттів, в конструкціях з густим армуванням, для усунення технологічних швів при збільшенні темпів будівництва, для зменшення структурних елементів конструкцій за рахунок збільшення міцності бетону, архітектурного бетону, а також збірного залізобетону. Такі бетони отримують з рядових сумішей з ОК більше 18 см за умови забезпечення високої когезії . Це визначає рівномірне розташування зерен крупного заповнювача в бетоні. Крім того, вміст дрібного заповнювача в таких бетонах визначає відсутність розшарування при високій рухомості бетонних сумішей. Також на заводі ЗЗВ ПАТ «ДБК-4» освоєно високоміцні бетони. Їх особливістю є досить значні витрати цементу до 600кг/м куб. Використання таких бетонів в промисловості збірного залізобетону дозволяє скоротити параметри тепловологісної обробки виробів. На підприємстві виготовляються товарні бетонні суміші класів В 15 - В 35 та рухливістю від Р - 1 (ОК 1- 4см) до Р -5 (ОК > 21см) включно. Крім того, для формування виробів 22 - 25 поверхових будинків проводиться виготовлення бетонних сумішей класу В 40[24].

Для покращення якості бетонних сумішей та збільшення їх виробництва у 2008р введено в дію новий вузол РБВ-3 «ELVA» проектною потужністю 130 м куб. бетонної суміші за годину; проведено модернізацію РБВ-2. В умовах заводу при приготуванні якісних розчинів та бетонів нової генерації наряду з роботою з цементами, заповнювачами, особливу увагу приділяють питанням правильного вибору та оптимізації на основі виконаних досліджень складу комплексних модифікаторів пластифікуюче-прискорюючої дії та їх використанню.

У більшості випадків, фахівці, до литих бетонних сумішей відносять бетонні суміші з розливом конуса з маркою Р5 і більше і ОКІ=24см і більше П5.

При додаванні комплексних хімічних добавок, які включають суперпластифікатор, когут бути отримані (без збільшення витрати цементу) литі бетонні суміші, що не розшаровуються, наближаються за пластичними властивостями до тих, що самоущільнюються, але менш дорогі [13,15,17,20]. Такі суміші рекомендується укладати за допомогою напірної технології бетонування, в обмежених умовах, а також при бетонуванні тонкостінних і густоармированих конструкцій [20,26-30]. Укладання таких сумішей може дозволити значно зменшити витрати праці, підвищити продуктивність і на цій основі отримати економічний ефект при одночасному підвищенні якості будівництва і поліпшення умов праці.

### **3.2 Самоущільнювальні бетони**

Як було зазначено раніше у сучасних умовах виникає гостра необхідність отримання високо функціональних бетонів нової генерації (High Perfomance Concrete, HPC), до яких належать високоміцні бетони (High-Strength Concrete, HSC), фібробетони, бетони з реактивних порошків, само

ущільнювальні бетони (Self-Compacting Concrete, SCC). Підставою для таких сучасних рішень є отримання високотехнологічних і легковкладальних бетонних сумішей, що забезпечують у кінцевому підсумку отримання високоміцних композитів з підвищеною довговічністю[3,7].

В кінці 80-х років, завдяки дослідженням японського вченого Х. Окамури, в технології приготування бетонних сумішей виділилося напрям - самоущільнювальні бетонні суміші (СУБ). Такий бетон відрізняється від звичайного по складу, так і за властивостями. Відмінність полягає в співвідношенні матеріалів і у використанні спеціальних ефективних добавок мінерального і хімічного походження, за рахунок яких можна отримати бетони текучої консистенції, а після затвердіння підвищеної міцності. До недоліків можна віднести велику вартість і малу поки вивченість впливу суперпластифікаторів на цемент після затвердіння бетону з плином тривалого часу експлуатації.

На початку 2000-х в інституті міста Аахен (Німеччина) професор В.Брамесхубер вивчав властивості самоущільнювального бетону. Проведені ним дослідження показали якими властивостями володів самоущільнювальний бетон в порівнянні зі звичайним бетоном. Матеріал отримав назву «Dyckerhoff Liquidur» і став активно поширюватися по будівельних майданчиках Європи внаслідок своїх унікальних властивостей.

У 2002 році компанія EFNARC опублікувала документ «Specification & Guidelines for Self-Compacting concrete» - (з англ. Специфікація і Керівництво по самоущільнювальним бетону), який містив в собі всю необхідну інформацію про бетони для виробників, будівельників і проектувальників.

У 2004 році п'ять європейських організацій: ВІВМ, СЕМБЮРЕАУ, ЕРМСО, ЕФСА, ЕFNARC створили вчену групу, щоб оцінити накопичений досвід застосування самоущільнювальних бетонів і підготувати новий документ, який охоплював би всі аспекти самоущільнювальних бетонів. В цьому документі «The European Guidelines for Self-Compacting Concrete» (с англ. Європейське керівництво по Самоущільнювальному бетону) були

приведені узгоджені специфікації бетонних сумішей для виробництва СУБС, методи їх випробування, інформацію про матеріали [6,12,19]. У таблиці 3.1 наведена класифікація само ущільнювальних бетонів.

Таблиця 3.1 – Класифікація бетонних сумішей

Назва бетонної суміші	Позначення	Чим характеризується	Значення величині
Високорухлива	SF1	Розтікання конуса	550-650мм
	SF2		660-750мм
	SF3		760-850мм
В'язка	VS1/VF1	В'язкістю	8 сек.
	VS2/VF2		9-25 сек.
Легкоформуєма	PA1	-	Залежить від частоти армування споруди
	PA2	-	
Стійка до розшарування	SR1	Розшаруванням	<20%
	SR2		<15%

В останні роки, як за кордоном, так і в нашій країні з'явилися численні публікації про самоущільнювальні бетони (СУБ). Сама назва такого виду бетону говорить про те, що, будучи ще бетонної сумішшю, він має властивість розтікатися під дією гравітаційних сил без розшарування і водовідділення. В робочому стані це гомогенна суміш. При укладанні такої суміші в опалубку, найчастіше, відпадає необхідність в її вібруванні, тобто ущільненні.

Аналіз наукових досліджень дозволив зробити наступні висновки, так Швабовський Я. (J. Szwabowski) та інші зазначають, що складність проектування самоущільнювального бетону полягає у забезпеченні як високих технологічних властивостей бетонної суміші, так і високих експлуатаційних властивостей затверділого бетону[33]. При цьому пріоритетною вимогою є покращені реологічні показники бетонної суміші – рухливість, в'язкість, сегрегація, нівелювання у густоармованих конструкціях, видалення захопленого повітря, що зумовлює багатоконпонентність складів само ущільнювальних бетонів з

використанням хімічних та мінеральних добавок, наповнювачів, поліфракційних заповнювачів [19,20]. До того ж специфіка складів самоущільнювальних бетонів зумовлює певні особливості будівельно-технічних характеристик затверділого композиту.

Дослідження Несветаєва Г.В. доводять [16], що за рахунок зміни макроструктури бетону (збільшення кількості цементного каменю та зменшення великого заповнювача) та впливу суперпластифікатора деформації усадження самоущільнювального бетону дещо збільшується, а початковий модуль пружності зменшується порівняно з показниками бетонів однакового класу, одержаних за традиційною технологією.

Коваль С.В. та інші вчені [12,20,29,32] одержали самоущільнювальний бетон з використанням вапнякового мікронаповнювача та портландцементу марки 400, при цьому міцність бетонів на такому цементі через три доби не перевищує 50 % від марочної, а через 28 діб – не вище 45 МПа (клас С35/40), що недостатньо для зведення висотних споруд.

Узагальнення результатів досліджень в області технології бетону свідчить, що прискорення тверднення бетону за монолітного бетонування з використанням самоущільнювальних бетонних сумішей вимагає нового підходу до створення пластифікованої цементної матриці, основою якого є регулювання процесу структуроутворення, а також якнайповніше використання властивостей в'язучих систем [15,28,32].

Таким чином узагальнюючі наукові дослідження визначаємо що самоущільнююча бетонна суміш (рис.3.1) - це бетонна суміш, яка без впливу зовнішніх сил ущільнення (вібрації) і самостійно під впливом власної ваги тече, звільняється від повітря і заповнює простір між опалубкою споруди і арматурними стрижнями.

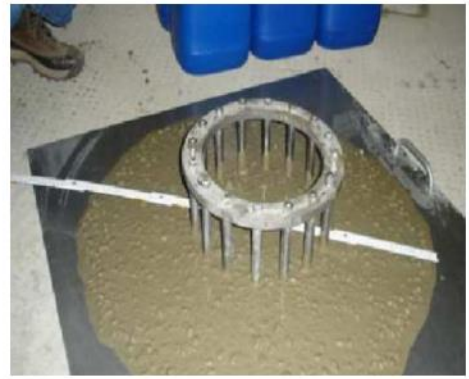


Рисунок 3.1 – Самоущільнювальна бетонна суміш

Матеріали, які використовуються для приготування СУБС, в цілому, не мають яких-небудь відмінностей від матеріалів, використовуваних в приготуванні традиційних бетонів[6]. Відрізняється тільки їх співвідношення, а також використання спеціальних ефективних добавок.

Основні початкові матеріали для підбору складу СУБС :

- цемент;
- великий і дрібний заповнювач;
- мінеральний наповнювач;
- добавки;

Розглянемо кожен компонент окремо і простежимо, як вони впливають на бетонну суміш в цілому.

Цемент. Як і в традиційному бетоні основним в'язучими у бетонах, що самоущільнюються, є -портландцемент. Це в'язуче має складну мінеральну структуру, що складається з оксидів кальцію, кремнію, алюмінію і заліза. Іноді використовується сульфатостійкий цемент. Слід також відмітити, що вибір цементу залежить в першу чергу від призначення конструкції, яке має бути вказане в технічному завданні від замовника.

Заповнювач. Для отримання СУБС постійної якості слід особливо ретельно і безперервно контролювати і враховувати гранулометричний склад великого і дрібного заповнювачів [19,26,31]. На відміну від звичайного бетону, СУБС чутливий до коливань рецептури, найбільший вплив на нього

робить зміст вологи, як в довкіллі, так і заповнювачів [6]. Великий і дрібний заповнювач слід зберігати в критих складах, що дозволить контролювати вологість і як наслідок - водо цементне співвідношення. Також при проектуванні складу треба враховувати і форму заповнювача. Округла форма заповнювача дозволяє зменшити вірогідність впорядкованості заповнювача і тим самим збільшується розтікання конуса.

В якості великого заповнювача рекомендується застосовувати щебінь фракцій 5-20, 5-10 з метаморфічних гірських порід. Великість заповнювача вибирається з умов: крок арматури, розміщення арматури, геометричні форми конструкції. Дрібний заповнювач призначають часто у вигляді кварцового піску з модулем великості 1,7 - 2,5.

Мінеральний наповнювач. У складі бетонів мінеральний наповнювач (великість < 0,125 мм) може проявляти себе як інертний матеріал (вапняк, доломіт, пілоподібний кварц та ін.) або як компонент, що має приховану гідравлічну активність (туф, трепел, опока, мікрокремнеземи та інші).

Добавки. Для регулювання властивостей бетонної суміші, що самощільнюється, найбільше застосування знайшли хімічні пластифікуючі добавки, а саме, гіперпластифікатори на основі ефірів полікарбоксилата. Ці добавки забезпечують стабільність і життєздатність бетонної суміші бетонів, що самощільнюються. Тривалість пластифікуючої дії полікарбоксилатів в три-чотири рази більше в порівнянні з сульфомеланіновими, сульфонафталановими формальдегідами або лігносульфонатами[27].

Але у добавок на основі полікарбоксилата є і свої недоліки:

– проблема сумісності з видом цементу. Полікарбоксилат несумісний з хімічним складом портландцементу. Саме тому заводам-виробникам доводиться замінювати портландцемент на інший вид цементу, що може вести за собою зриви термінів в постачанні сировини хорошої якості. Полікарбоксилат чутливий до низьких температур.

– зайве залучення повітря, що може впливати на міцність бетону;



- особливі умови зберігання - не можна допускати високу вологість і температуру.

- висока вартість добавок на основі полікарбосилата.

Добавки, включаючи воздухововлекаючі, прискорюючі і уповільнюючі тверднення бетону, можуть використовуватися також, як і в звичайному бетоні, з урахуванням рекомендацій виробника добавок по їх застосуванню і способу введення [27].

Рецептура бетонної суміші, що самоущільнюється, відрізняється від складу звичайної бетонної суміші.

Першою відмінністю є принципово інший підхід до співвідношення і гранулометрії заповнювачів (витрата щебеню не перевищує витрату піску, розсівання заповнювачів, по можливості, наближається до ідеальної кривої за рахунок збагачення декількох фракцій).

Друга відмінність полягає в обов'язковій присутності в суміші наповнювачів (як правило, це вапняковий порошок) і підвищеній витраті цементу.

Третьою відмінністю є тип і дозування пластифікуючої добавки (як правило, це гіперпластифікатор, доза якого на порядок перевершує стандартну витрату для звичайного бетону).

В даний час вивчення самоущільнювальних бетонних сумішей і методів їх діагностики активно триває. Дослідження проводяться в Технічному Університеті міста Берлін на будівельному факультеті під керівництвом професора Б.Хіллемайера і доктора Ж.Бухенау.

Самоущільнювальні бетонні суміші поки не мають широкого застосування із-за складнощів в організації виробництва такого бетону і повної відсутності розвиненої нормативної бази.

Наприклад у Японії близько 50% нових залізобетонних конструкцій виготовляється з СУБС, а Європі на частку СУБС доводиться 7-10% обсягу виробленого бетону. В Україні застосування самоущільнювальних бетонів тільки отримує свій розвиток, однак протягом останнього десятиліття поряд

будівельних організацій зроблені успішні спроби застосування самоущільнювальних бетонів в цивільному будівництві.

Поширенню їх в країнах СНД сприяють дослідження таких вчених як Несветаева Г.В., Калашникова В.І., Капрієлова С.С., Ваучского М.І., Головнева С. Г., Болотських О.М. та ін. Серед зарубіжних авторів, які працюють в цій галузі, можна виділити таких вчених як Х. Окамура, К. Маєскава, К.Озава.

В цілому, можна відзначити, що застосування СУБ має бути економічно виправдано, так як такий бетон має свою специфіку. В першу чергу повинні враховуватися параметри складності і відповідальності конструкцій, так як самоущільнювальний бетон - це високо марочний бетон по міцності (100 і більше МПа) і довговічності (морозостійкості до F600), а також і підвищені вимоги до конструкції опалубки, яка повинна бути міцною і герметичною, щоб витримати гідростатичний тиск бетонної суміші.

Широке впровадження таких бетонів обмежує його вартість, тому, в ряді країн використання SCC згідно щорічних звітів Європейської Організації Готових Бетонних Сумішей (European Ready Mixed Concrete Organization, ERMCO) за 2005-2019 роки складає незначну частку від загальної кількості рухливих бетонів. Найбільш вражаючі сучасні будівельні споруди пов'язані із застосуванням SCC [18,7,31].

### **3.3 Застосування і вдосконалення нового покоління бетонів**

Одна з найактуальніших проблем сучасного бетоноведення - застосування і вдосконалення нового покоління бетонів, що отримали в світовому науковому співтоваристві назву «High Performance Concrete».

Поява таких бетонів відкрило нову еру в будівництві. Їх унікальні властивості: висока міцність і корозійна стійкість, водонепроникність і морозостійкість, регульована деформативність - дозволили реалізувати такі

будівельні проекти, про які ще порівняно недавно важко було навіть мріяти.

Досить згадати міст через протоку Акасі в Японії з центральним прольотом в 1990 м, тунель під Ла-Маншем, 125-поверховий хмарочос заввишки 610 м в Чикаго та інші.

Високоякісні бетони забезпечують високі гарантовані параметри експлуатаційної надійності будівель і споруд в умовах складних впливів навколишнього середовища і навантажень, значно скорочують терміни будівництва і зменшують інвестиційні ризики. Все це вкрай важливо для страхових компаній та інших фінансових учасників, залучених в процес сучасного будівництва.



Рисунок 3.2 – Міст через протоку Акасі в Японії



Рисунок 3.3 – Євротунель, тунель під Ла-Маншем(фр.le tunnel sous la Manche, англ. the Channel Tunnel чи Euro Tunnel)

Широка номенклатура створених вченими і фахівцями ефективних матеріалів та виявлених технологічних прийомів дозволили в 80-90-х роках з використанням досвідчених, дослідно-промислових установок і стендів, а також в умовах промислового виробництва відпрацювати принципово нові ефективні технологічні схеми отримання нових видів бетонів з широким діапазоном експлуатаційних характеристик за рахунок варіювання в широких межах виду сировинних матеріалів (в'язучих і заповнювачів), різновидів, способу і стадії введення хімічних модифікаторів і активних мінеральних добавок, оптимізації складу багатокомпонентного бетону і цілеспрямованого управління технологією.

Багато вчених під високоякісними бетонами розуміють бетони які легко укладаються на гідравлічних в'язучих, що поєднують високі показники міцності властивостей (класи по міцності на стиск від С35/40 і вище до С80/90, що відповідає маркам по міцності М600-М1200 і більше) і темпів тверднення (міцність у віці доби природного тверднення не менше 25-30 МПа) з необхідними показниками будівельно-технічних властивостей, у тому числі: водонепроникність W 12 і вище, морозостійкість F 400 і вище, стиранисть не більше 0,3-0,4 г/см<sup>2</sup>, водопоглинання 1-2,5 мас%, висока опірність проникненню хлоридів, висока газонепроникність, регульовані показники деформативності (у тому числі компенсація усадки бетону у віці 14-28 діб природного твердіння).

Вперше у практиці будівництва вченими були отримані і застосовані високоміцні і бетони які швидко твердіють з міцністю на стиск до 200 МПа, що поєднують високі показники морозостійкості (F1000 і вище) і водонепроникності (W20 і більше) зі стабільністю об'єму і підвищеною стійкістю до різних агресивних дій і високими декоративними властивостями[17,18,21,24].

Економічний ефект розробки вчених визначається зниженням матеріаломісткості, зменшенням енерго- і трудовитрат і застосуванням техногенних відходів, значним збільшенням довговічності, і, як наслідок,

збільшенням терміну міжремонтної експлуатації і зниженням експлуатаційних витрат, пов'язаних з функціонуванням будівель і споруд та з проведенням ремонтних робіт, що стало можливим завдяки забезпеченню високих, раніше недосяжних показників експлуатаційної надійності бетону.

Так як самоущільнювальний бетон - це порівняно новий і перспективний напрям в області технології бетону. Але для повноцінного застосування в Україні самоущільнюючого бетону необхідно створити науково-нормативну базу, де будуть описані методи діагностики самоущільнювальних бетонів, рекомендовані рецептури його складів, класифікація, для яких споруд самоущільнювальний бетон був би застосовний.

### **3.4 Оцінка впливу технологічних властивостей на підвищення продуктивності виконання будівельних робіт**

Дослідження вчених Комарінського М.В., Смірнова С.І., Бурцева Д.Є. в галузі розробки і застосування литих і самоущільнюючих бетонних сумішей при будівництві унікальних будівель і споруд, за рахунок дослідження властивостей легкоукладаємих і порівняння технологічних властивостей, литих і самоущільнюючих бетонних сумішей дозволили виконати порівняльний аналіз.

Для того щоб підвищити рівень якості будівництва, знизити кошторисну вартість будівництва, заощадити на трудових і матеріальних ресурсах, можливе застосування литих бетонних сумішей які розшаровуються ідентичних за своїми характеристиками міцності і технологічними параметрами замість самоущільнювальних.

Широке використання литих бетонів, що укладаються без вібрації, є досить ефективним технологічним заходом в сучасному будівництві.

Оскільки для кожної конкретної мети потрібні особливі технологічні характеристики будівельних сумішей, то при їх виготовленні можуть застосовуватися різні компоненти в неоднакових співвідношеннях. Тому ціни самоущільнювальних і литого бетонів можуть варіюватися в великих діапазонах.

Дослідження українських вчених з Національного університету «Львівська політехніка» Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Русин Б.Г. в напрямку високофункціональних бетонів на основі модифікаторів нової генерації визначили, що основою технічних рішень сучасних новаторських напрямків створення високофункціональних бетонів нової генерації є використання багатокомпонентних в'язучих речовин, що поєднують мінеральні добавки різних типів та комплексні модифікатори поліфункціональної дії, а також високотехнологічних процесів і машин для будівельної індустрії.

В своїх дослідженнях вони використовували суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів – це суміш синтетичних, розчинних у воді поверхнево-активних розгалужених прищеплених полімерів та полімерів. Введення полікарбоксилатних естерів істотно впливає на раннє структуроутворення портландцементів. Так, 0,5–1,0 мас.% полікарбоксилатів відтягує початок та кінець тужавіння на 40–60 та 70–90 хв. відповідно. Характерно, що за порційного введення початок тужавіння відтягується до трьох годин, при цьому дещо зменшується час між початком та кінцем тужавіння.

Отже, використання комплексних модифікаторів на основі полікарбоксилатів забезпечує одержання високорухливих бетонних сумішей з тривалим часом збереження та високоякісних бетонів заданих класів, а збереження постійних значень рухливості бетонної суміші та міцності бетону досягається за скороченої витрати цементу.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що на сьогоднішній день найбільш перспективним зведенням будівель є існуючі технології монолітного будівництва. Монолітне і збірно-монолітне будівництво отримує подальший розвиток і стає домінуючим методом в загальній структурі будівельного комплексу. Цьому сприяють освоєння нових технологій, використання сучасних опалубних систем і комплексної механізації та індустріалізації технологічних процесів приготування, доставки, подачі і укладання бетонної суміші та інше.

2. Основними технологічними процесами при зведенні монолітного каркасу безумовно є встановлення опалубки, монтаж арматурних елементів, укладання бетонної суміші і демонтаж опалубки, але укладання бетону є одним з найбільш відповідальних моментів при монолітному будівництві. Твердіння бетону являє собою складний фізико-хімічний процес тому відсутність догляду може призвести до отримання низькоякісного, дефектного і непридатного бетону, а іноді до руйнування конструкції незважаючи на хорошу якість застосовуваних матеріалів, правильно підібраний склад суміші і ретельне бетонування.

3. У наш час в монолітному будівництві використовують різні види бетонів. Щоб забезпечити високу якість бетону під час виконання робіт необхідно забезпечувати таке співвідношення складників бетонної суміші, яке б відповідало умовам її укладання. Консистенція бетонної суміші обумовлюється її складом і може змінюватися від жорсткої до рідкої, легко розтікатися. Ефективним регулятором рухливості бетонної суміші є добавки пластифікаторів і суперпластифікаторів, що підвищують рухливість бетонної суміші й зменшують її водопотребу. Для поліпшення технологічних властивостей бетонних сумішей, фізико-хімічних властивостей бетонів,

економії цементу й зниження трудомісткості робіт застосовують різні добавки

4. Завдяки застосуванню комплексних хімічних добавок, що включають суперпластифікатор, можуть бути отримані без збільшення витрати цементу самоущільнюючі литі бетонні суміші, що не розшаровуються. Уведення в суперпластифікатори додаткових компонентів уможливорює регулювання термінів тужавіння й темпи тверднення бетону; збільшення термінів збереження рухливості бетонної суміші; зменшення водовидалення й розшарування бетонної суміші; підвищення щільності, водопроникності й міцності бетону; поліпшується якість поверхні бетону.

5. Застосування таких сумішей замість стандартних віброущільнюючих малорухомих сумішей, що укладаються із застосуванням засобів механізації на будівельних майданчиках дозволяє значно зменшити витрати праці, підвищити його продуктивність і на цій основі отримати економічний ефект при одночасному підвищенні якості будівництва і поліпшення умов праці.

6. Висока вартість самоущільнюючих бетонних сумішей, з одного боку, передбачає їх використання тільки для отримання високоміцних бетонів з високими і ультрависокими експлуатаційними властивостями, наприклад, для висотних і великопрольотних будівель і споруд, а з іншого боку, спонукає до розробки заходів щодо зниження їх собівартості для розширення області можливого застосування.

7. Самоущільнюючі бетони - це порівняно новий і перспективний напрям в області технології бетону. Але для повноцінного застосування в Україні самоущільнюючих бетонів необхідно створити науково-нормативну базу, де будуть описані методи діагностики бетонів, рекомендовані рецептури його складів, класифікація, для яких споруд самоущільнюючий бетон був би застосовний і тому подібне.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будівельне матеріалознавство : підручник / за ред. К.К. Пушкарьової. Київ : Ліра-К, 2020. 592 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва : Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
3. Базанов С.М., Торопова М.В. Самоуплотняющийся бетон – эффективный инструмент в решении задач строительства. URL: <https://allbeton.ru/article/36.html> (дата звернення 05.07.2021).
4. Блещик Н.П. Проблемы технологии современного бетона. *Современные бетоны. сб. трудов.* IX Международная научно-практическая конференция. Сборник трудов. Запорожье, 2007.
5. Батраков В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы . *Строительные материалы.* 2006. №10. С. 4-7.
6. Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : НУВГП, 2016. 448 с.
7. Долгий В.П., Ковальчук Ю.А. Применение самоуплотняющихся бетонов при возведении градирен белорусской АЭС. Материалы международной научнопрактической конференции «Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения». Харьков, 28-29 октября 2015. с. 73-78
8. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції із важкого бетону. Конструкції будівель і споруд. Правила проектування. [Чинний від 2011–06–01]. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. 123 с. (Національні стандарти України).
9. ДСТУ ISO 9001: 2015. Система управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2015–12–31]. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.

10. ДСТУ Б В. 2.7-126:2011. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-01-06]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2011. 40 с.

11. Кривенко П.В, Пушкарьова К.К., Барановський В.Б. Будівельне матеріалознавство : підручник для внз. Київ : ЕксОб, 2006. 703 с.

12. Коваль С.В., Поляков Д.М., Ситарски М,О. Циак М. Пути создания самоуплотняющихся бетонов. *Будівельні конструкції*. 2009. Вип. 72. С. 232-238.

13. Калашников В.И., Володин В.М., Ерофеев И.В., Абрамов Д.А. Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково-активированные песчаные бетоны и фибробетоны. *Современные проблемы науки и образования*. 2015, № 1. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20136> (дата звернення 06.07.2021).

14. Композитна арматура в будівництві: варто використовувати чи уникати. URL: <https://remdesign.info/3928-kompozytna-armatura-v-budivnytstvi-varto-vykorystovuvaty-chy-unykaty.html> (дата звернення 20.05.2021).

15. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В. и др. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкция. Часть II . Строительные материалы. 2008. №3.

16. Несветаев Г.В. О методологии оценки эффективности добавок для самоуплотняющихся бетонов : материалы міжнар. наук.-практ. конф. «Современные бетоны». г. Запоріжжя, «Будіндустрія ЛТД», 2008. С. 111–118.

17. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. Київ : УВПК «ЕксОб», 2008. 360 с.

18. Современные бетоны. / под ред. А.В. Ушерова-Маршака Запорожье, «Будіндустрія»2007. 225с.

19. Сахошко Е.В., Зайченко Н.М. Самоуплотняющийся бетон в современном монолитном домостроении. *Вісник ДНАБА.*, 2009. №1. С. 112-116.

20. Саницький М.А., Позняк О.Р., Марущак У.Д., Чемерис М.М. Модифікатори нової генерації для бетонів. *Будівельні матеріали та вироби*. 2006. №1. С. 5-7.
21. Сучасні технології в будівництві : підручник. / за ред. О.І. Менеїлюка. Київ : Освіта України, 2011. 534 с.
22. Сравнение композитной и металлической арматуры: какую лучше использовать. URL: <https://metalobaza.su/informaciya/osobennosti-stekloplastikovoii-armatury> (дата звернення 21.05.2021).
23. Технологія будівельного виробництва : навч. посіб. / за ред. М.Г. Ярмоленко. Київ : Вища школа, 2007. 207 с.
24. Технологія та властивості бетонів нового покоління. URL: <http://krashiy.com/rus/nominations2008/?nid=40&id=37730&pid=1144> (дата звернення 21.05.2021).
25. Физико-механические характеристики стальной и стеклопластиковой арматуры. URL: <https://arvit.com.ua/produkcija/harakteristiki/> (дата звернення 21.05.2021).
26. Храпко М. Самоуплотняющийся бетон — долгожданное решение. URL: <https://allbeton.ru/article/279.html> (дата звернення 05.07.2021).
27. Химические и минеральные добавки в бетон / подред. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков : Колорит, 2005. 280 с.
28. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC. *New Technologies and Materials in Civil Engineering*, Milan, 2003. P. 1–8.
29. G. Ye, X. Liu, G. De. Schutter Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2006. Vol 29, P. 94–102.
30. Kucharska L. Tradycyjne i współczesne domieszki do betonu zmniejszające ilość wody zarobowej. *Cement, wapno, beton*. 2000. Vol 2, P. 46–61.

31. Kitamura H., Mishizaki T., Ito, H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete. Proceedings of the international workshop on self-compacting concrete. 1999. pp. 262-291.

32. Okamura H. Mix design for self-compacting concrete. *Conc. Lib. Of Japan Soc. of Civ. Eng*, 1995. Vol 6, P. 107–120.

33. Szwabowski J., Golaszewski J. Technologia betonu samozageszczalnego. Krakow : Stowarzyszenie Producentow Cementu. 2010. 160 p.