

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Моделювання роботи залізобетонних конструкцій із застосуванням мікрокремнезему**

Виконав: студент VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

Студент		<u>Ігнатишин В. Р.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	<u>Гудь М. І.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	<u>Мещерякова О.М.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	<u>Ясній В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	<u>Чубик В.Ф.</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ігнатишину Віктору Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Моделювання роботи залізобетонних конструкцій із застосуванням мікрокремнезему»

Керівник роботи Гудь Михайло Іванович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Літературний огляд. Експериментальні дослідження конструкцій.

Чисельні дослідження та аналіз напружено-деформованого стану розроблених конструкцій

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень		
2	Експериментальні дослідження конструкцій.		
3	Чисельні дослідження та аналіз напружено-деформованого стану розроблених конструкцій		
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
5	Загальні висновки		

Студент _____
(підпис)

Ігнатишин В. Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гудь М. І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Досвід конструювання залізобетонних перекриттів багатоповерхових будівель	9
1.2 Особливості застосування модифікованих бетонів у будівництві	19
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Вивчення процесу структуроутворення в цементних системах з мікрокремнеземом	26
2.2 Експериментальні дослідження складів високоміцних бетонів на цементях М 400-500	28
РОЗДІЛ 3 ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОЗРОБЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ	39
3.1 Обґрунтування обраного методу дослідження	39
3.2 Аналіз ефективності перерізу перекриття в програмі SCAD Office з урахуванням НДС із бетону з мікрокремнеземом С20/25, С35/40	40
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ	45
4.1 Висновки за розділом	48
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	50
5.1 Охорона праці	50
5.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві	50
5.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу будівельних конструкцій	51
5.1.3 Висновки до підрозділу 5.1	54

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	54
5.2.1 Заходи при землетрусі	54
5.2.2 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта.....	55
5.2.3 Системи сейсмосахисту будівель і споруд.....	56
5.2.4 Висновки до підрозділу 5.2.....	57
ВИСНОВКИ	58
БІБЛІОГРАФІЯ	59

ВСТУП

Одним з основних завдань будівельної галузі є зниження собівартості будівництва за рахунок використання новітніх технологій і матеріалів. У зв'язку з цим, одним із шляхів зниження витрат на матеріали для капітального будівництва є скорочення кількості застосовуваної арматури в конструкції за рахунок використання бетонів підвищеної міцності. Найбільший економічний ефект тут слід очікувати при проектуванні стиснутих залізобетонних конструкцій. Уже відомі шляхи підвищення міцності бетону - це використання модифікаторів, хімічних добавок, і супровід усього процесу суворим контролем якості.

Відомо, що модель розрахунку, заснована на класичній теорії, не дає змоги повною мірою врахувати всі особливості роботи залізобетонних конструкцій, що значно ускладнює можливості раціонального проектування конструкцій. Так, у класичній теорії є низка припущень:

- замість наявної в дійсності криволінійної діаграми для розрахунку приймають прямокутну епюру напруженого стану під час стиснення бетону;
- розрахунок не дає змоги отримати картину напружено-деформованого стану елемента в разі перевищення напруженнями в арматурі нормативного опору, не дає змоги враховувати плинність і подальше зміцнення арматури (м'яких сталей);
- для визначення кривизни і прогинів як до, так і після утворення тріщин, в елементі використовують різні підходи;
- доцільно приймати єдину розрахункову модель для визначення міцності, деформативності та тріщиностійкості конструкції замість наявних на цей момент кількох розрахункових моделей;
- немає можливості визначити напружено-деформований стан конструкції в будь-якій стадії завантаження, оскільки оцінювати міцність конструкції можна тільки в граничній стадії її роботи.

На основі цих та низки інших припущень будуються інженерні розрахунки, пристосовані для виконання ручним способом або за допомогою нескладних

комп'ютерних програм. Інакше кажучи, в основі класичної теорії закладено принципи спрощення розрахункових залежностей за рахунок відходу від фізики процесів, що відбуваються, і деякої втрати точності.

Сучасна теорія розрахунку залізобетону неухильно розвивається в бік відмови від спрощених схем і створення універсальної деформаційної моделі розрахунку з урахуванням реальної нелінійної роботи бетону в поперечному перерізі.

Нині комп'ютерна техніка стрімко розвивається, і складні інженерні завдання стали розв'язуваними за допомогою комп'ютерних програм. Це дає можливість виконувати розрахунки залізобетонних конструкцій на новому рівні.

Так, в останні десятиліття активно розвиваються методи розрахунку залізобетонних конструкцій з використанням високоміцних бетонів, арматури. Тому необхідно приділяти увагу вдосконаленню методів розрахунку міцності, деформативності та тріщиностійкості залізобетонних конструкцій, багатоповерхових будівель із бетону із застосуванням мікрокремнезему.

Мета роботи: дослідити напружено-деформівний стан (НДС) несучих згинальних залізобетонних конструкцій з мікрокремнеземом, що застосовуються в багатоповерховому житловому будівництві.

Об'єкт досліджень – згинальні елементи житлових багатоповерхових будівель.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан (НДС) залізобетонних перекриттів житлових багатоповерхових будинків із бетону з мікрокремнеземом порівняно з типовим.

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити економічність перекриттів житлових багатоповерхових будинків.

Завдання роботи:

- узагальнити та проаналізувати літературний огляд з вітчизняним і зарубіжним досвідом конструкторських розробок;
- розробити та дослідити склади бетонів з мікрокремнеземом те без

них;

- знайти способи виявлення аналізу закономірності зміни напружено-деформованого стану досліджуваних конструктивних форм залежно від міцнісних і геометричних параметрів;

- провести аналіз конструктивних рішень багатоповерхових залізобетонних будівель і виявити показники, що впливають на зниження матеріаломісткості.

Методи дослідження – теоретичний аналіз і скінченно-елементне моделювання конструкцій житлових будівель у розрахункових програмних комплексах.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

Наукова новизна отриманих результатів

- обґрунтовано принцип управління структурою і властивостями цементного каменю високоміцних бетонів з мікрокремнеземом, на основі якого виконано підбір складів бетонної суміші з мікрокремнеземом із дослідженням фізико-механічних властивостей;

- виявлено закономірності впливу міцнісних і геометричних параметрів на напружено-деформований стан перекриття;

- на основі чисельних методів встановлено основні міцнісні та деформаційні властивості перекриттів із бетонів з мікрокремнеземом С20/25 – С35/40 багатоповерхових житлових будинків порівняно з типовим.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- проведено аналіз матеріалозберігаючих рішень і визначено економічний ефект від застосування бетону з мікрокремнеземом під час будівництва багатоповерхових житлових будинків;

- на основі використання мікрокремнезему розроблено та досліджено бетони підвищеної міцності.

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та

гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: мікрокремнезем, високоміцні бетони, чисельні дослідження.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Досвід конструювання залізобетонних перекриттів багатоповерхових будівель

Бетон - один з найдивовижніших винаходів, створених людиною для поліпшення якості проживання людей, шляхом створення споруд зі штучного каменю. Походження штучного каменю (бетону) лежить у глибокій давнині, коли багато народів в V-III столітті до н. е. почали застосовувати сполуки вапна, гравію, глини і води для створення невеликих блоків, завдяки яким зводили найбільші будови, деякі з яких збереглися і донині.

Нині XXI століття і спосіб виготовлення залізобетонних конструкцій значно змінився, разом з ним змінилися вимоги і контролю якості виготовлених конструкцій. Якість перевіряється від самого початку виготовлення бетону: від вибору фракції крупного та середнього заповнювача та вибору в'язучої речовини до випробування пробних зразків які досягли хоча б 80% своєї твердості.

У 20-х роках минулого століття створюються потужні будівельні організації, що спеціалізуються на зведенні споруд з монолітного залізобетону [8]. Обсяг монолітного залізобетону, що укладається щорічно став досягати декількох мільйонів кубометрів. З монолітного залізобетону стали будувати житлові та промислові будівлі, мости, гідроелектростанції, резервуари та ін. споруди [9].

Великий внесок у розробку теорії та практики будівництва з монолітного залізобетону наприкінці дев'ятнадцятого і на початку двадцятого століття вносять вчені Баженов, В. М. Байков, Е. Є. Сигалов, Б.

Влаштування опалубки з окремих дощок "за місцем", приготування бетону, подача його в опалубку й укладання здійснювалися вручну. До цього періоду належать перші спроби механізації приготування й укладання бетонної суміші [10]. Однак ці спроби носили дослідний характер і були далекі від практичного застосування [10]. Проте вдосконалення технології тривало. Замість опалубки, яку спочатку виконували з окремих дощок і брусів, що скріплювалися скобами і

цвяхами, стали використовувати дерев'яні щити, які могли використовуватися повторно [8,10]. Під час влаштування колон і стін дерев'яні щити з'єднували між собою на скобах і дротяних скрутках. Після набору бетоном відповідної міцності скрутки обрізали, а щити переставляли на нове місце. Така опалубка була проста у виготовленні, але мала невеликий термін служби - всього 2-4 оберти [13,14]. До початку ХХ століття був уже накопичений значний досвід будівництва з монолітного залізобетону в усьому світі. Для цивільних і громадських будівель залізобетон в основному використовували в колонах і ребристих перекриттях. Перевага ребристих перекриттів полягала у відносній простоті і ясності розрахункової схеми.

Однак ребристі перекриття для житлових будинків створювали цілу низку незручностей, пов'язаних із прокладанням інженерних мереж, нерівними стелями, санітарними вимогами тощо. Усуваючи ці незручності, конструктори стали розробляти монолітне безбалкове перекриття. Будівництво монолітних залізобетонних безбалкових перекриттів починається в першому десятилітті ХХ століття [14,15]. Широке застосування монолітного безбалкового каркасу здійснювалося в Європі та США. У США проєкт інженера Торнера - будівлі з монолітним безбалковим перекриттям - було реалізовано 1906 року [14]. Так, з європейських інженерів професор А. Ф. Лолейт був першим, хто запроектував і безпосередньо брав участь у будівництві будівлі з безбалковими перекриттями з ортогональною системою армування. У Швейцарії будівлю з аналогічним перекриттям звели в 1910 р.

Через складність стику плити і колони перші безбалкові перекриття були з капітелями - розширеннями колони у верхній частині, що примикає до плити. Наявність капітелей ускладнювала застосування таких перекриттів для громадських і житлових будівель. Тому інженерна думка просувалася шляхом усунення капітелей і застосування "рівних" стель [18,19]. Плоскі перекриття не тільки покращували зовнішній вигляд інтер'єрів, а й давали змогу зробити планування більш вільним. Крім того, значно спрощували і здешевлювали прокладання інженерних мереж, заощаджували об'єм будівель, а отже,

скорочували витрати на огорожувальні конструкції.

Перші рішення монолітних безбалкових безкапітельних перекриттів являли собою перекриття з прихованими капітелями. У такій конструкції капітель виконувалася сталевією, що дало змогу "приховати" її всередині плити перекриття [21]. Часто приховані металеві капітелі називали "комірцями". На початку 40-х років минулого століття з'явилися перші елементи збірної залізобетону, які виконують у сприятливіших умовах для отримання якісних конструкцій. Приховані капітелі стали застосовуватися і в збірно-монолітному варіанті. У цьому разі капітеллю була збірною попередньо напружена плита, що омонолічується з перекриттям. Надалі таку конструкцію традиційно застосовували під час будівництва методом підйому поверхів [21,22]. Відсутність капітелей знижувала жорсткість усього каркасу загалом. У 40-х роках ХХ століття на будівництвах у містах з великими обсягами бетонних робіт стали з'являтися бетономішалки з електроприводом, транспортери і кранове обладнання.

Сьогодні застосування монолітного багатоповерхового безригельного каркасу є одним із перспективних напрямів у будівництві житла, адміністративних будівель та інших споруд.

Сезонність монолітного будівництва, нестача кранового устаткування, індустріальної опалубки і механізмів для індустріальної технології укладання бетону на будмайданчику призвели до того, що монолітний безбалковий каркас для багатьох галузей господарства був витіснений збірним залізобетоном. Збірний залізобетон давав змогу вести роботи прискорено, цілий рік, із заводським контролем якості, з мінімальними витратами на будмайданчику, але він потребував великих матеріальних і енергетичних ресурсів.

Збірний залізобетон давав змогу вести роботи цілий рік, із заводським контролем якості, з мінімальними витратами на будмайданчику. Крім того, під час будівництва зі збірної залізобетону істотно спрощувалася розрахункова схема більшості конструкцій, що давало змогу здійснювати проектування без складної обчислювальної техніки. З цих причин, аж до дев'яностих років минулого століття, збірні каркаси займали провідні позиції в нашій країні під час

будівництва житлових, громадських, промислових будівель і споруд.

Проте збірний залізобетон вельми вигідний при масовій однотипній забудові, виявився менш раціональним при виконанні індивідуальних проєктів, оскільки вимагав більших матеріальних і енергетичних ресурсів. Тому пошук раціональних технологій спорудження монолітних споруд, зокрема й безбалкових каркасів, продовжували дослідники майже без перерви від самого початку застосування збірного залізобетону [23].

Водночас відсутність обчислювальної техніки та спеціальних програм для розрахунку нерозрізних систем в автоматизованому режимі істотно ускладнювала завдання застосування монолітних конструкцій, хоча їхні переваги були очевидні.

Зіставлення економічних показників збірного і монолітного будівництва з появою потужних обчислювальних комплексів, технічних і технологічних досягнень із доставки на будмайданчик і укладання бетонних сумішей, виявилось не на користь збірного будівництва [24,26]. З'ясувалося, що сумарні витрати у великопанельному будівництві з урахуванням усіх витрат за сучасного рівня виробництва монолітного залізобетону виявляються вищими на 30-45%. Якісним рішенням підвищення ефективності монолітного будівництва є застосування бетонів підвищеної міцності на основі суперпластифікаторів і комплексних модифікаторів на їхній основі [9].

Відкриття в останні 20 років нових технологічних прийомів і механізмів, необхідність врахування не тільки економічних вимог, а й соціальних, архітектурних, містобудівних та ін. призвело до підвищення ролі монолітного будівництва. Нині застосування монолітного багатопверхового безригельного каркасу є одним із найперспективніших напрямків у будівництві житла, адміністративних будівель та інших споруд. Крім того, розвиток обчислювальної техніки значно спростив розрахунок складних статично невизначених систем. Це знизило матеріаломісткість і спричинило збільшення обсягів будівництва будівель і споруд із застосуванням монолітних безбалкових каркасів [11,14,20].

Нині дослідження монолітних і збірних каркасів триває, триває активне вдосконалення розрахунків конструкцій. У роботах учених було проаналізовано

особливості роботи залізобетонних стійок, надано оцінки впливу зазначених факторів на несучу здатність і деформативність конструкцій. Усі вищевказані експерименти були проведені в різний час різними методами, що є головною причиною несхожості експериментальних даних - отримані дані мають великий розкид.

Багатофакторний аналіз експериментальних даних різних авторів засвідчив, що на несучу здатність залізобетонних колон із бетонів середньої міцності впливають гнучкість елемента, відносний ексцентриситет зовнішнього навантаження, ступінь обтиснення і міцність бетону. Менш істотно впливають на міцність конструкції модуль пружності бетону і відсоток армування [24-26].

Важливим фактором для отримання реальної несучої здатності залізобетонних колон є нелінійний розрахунок з використанням діаграм деформування бетону з урахуванням низхідної гілки.

Е. Хогнестед зі співавторами [27] випробовували позацентрово стиснуті стрижні, і для аналізу напружень у бетоні використовували гіпотезу плоских перерізів. Вони також отримали низхідну ділянку кривої G_b-f_b . Це викликало критику вчених, які не визнавали здійсненність гіпотези плоских перерізів у бетоні, а також сумнів у достовірності отриманих результатів. Однак, велика кількість дослідів Е. Хогнестеда, без сумніву, вказувала на наявність спадаючої ділянки діаграми під час позацентрового стиснення. Непрямим підтвердженням існування спадної ділянки діаграми "о-е" бетону з'явилися значення деформацій крайніх стиснутих волокон перерізу, заміряні під час випробувань залізобетонних конструкцій. Ці деформації мають набагато більші величини, ніж аналогічні деформації під час центрального стиснення.

Таким чином, норми Євростандартів не враховують сильного впливу геометричних розмірів перерізу на величини коефіцієнтів поздовжнього вигину. Використання не приведенного, а відносного ексцентриситету вимагає побудови залежностей для кожного типу поперечного перерізу.

Різним аспектам експериментальних і теоретичних питань короткочасної стійкості залізобетонних колон присвячено праці Бамбури А.М., Подобенка Т.М.,

Попеско О.І., Муніра А., Роша М., Баумана О., Хогнестада Е., Хансона Р., Хабеля А., Джекобсона А., Геллера В., Хотгера К., Бромса Б. та інших учених [23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33].

За кордоном в останні десятиліття зазначену проблему розглядали Foster S.I., Fttard M.M. (1997), Chuang P.H., Kong F.K. (1997), Kim I., Jang I. (1995), Ibrahim Mac Gregor L.G. (1994), Held M., Konig G., Simsch G. (1993), Bjerke L., Tomaszewics A. (1992) та інші; короткий аналіз цих робіт проводить Claeson C. (1997).

У низці зарубіжних досліджень для високоміцних бетонів враховують відмінність міцнісних властивостей бетону, який перебуває всередині арматурного каркасу і поза ним [24] (рисунок 1.1).

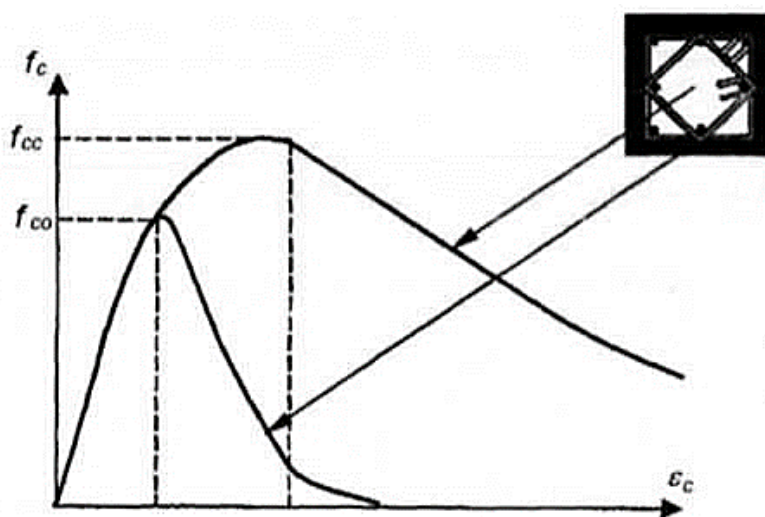


Рисунок 1.1 - Різниця діаграм роботи стисненого високоміцного бетону в колоні

На графіку: f_{c0} - міцність бетону захисного шару на стиск за одновісного напруженого стану; f_{cc} - те саме, для бетону всередині арматурного каркасу. Для зв'язку міцностей бетону f_{c0} і f_{cc} запропоновано кілька емпіричних формул. Г. Кбніг і Г. Сітш [30,31] рекомендують для величини f_{c0} залежність:

$f_{c0} = f_{ccyl} \cdot r$ де - міцність бетонного циліндра діаметром 15 см і заввишки 30 см; r - емпіричний коефіцієнт: $r=0,85$ - за малих ексцентриситетів; - в інших випадках. Неважко бачити, що такий вплив міцності f_{c0} на кінцеві результати чисельно буде помітним за досить малих розмірів поперечних перерізів колон.

Для високоміцних бетонів стиснутих колон за кордоном отримано спеціальні рекомендації (Рис. 1.2) щодо розмірів товщини захисного шару бетону (з умови його відшарування).

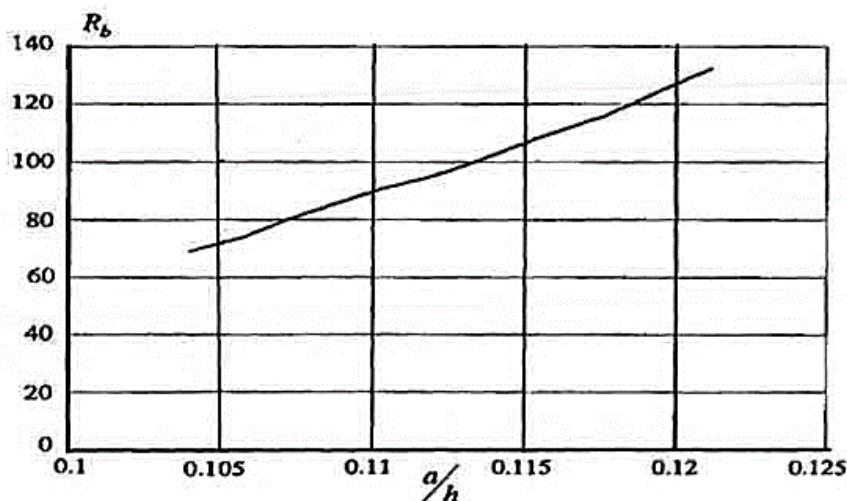


Рисунок 1.2 - Залежність міцності бетонів від відносної товщини захисного шару

В університеті Північної Кароліни вчені досліджували вплив типу армування на несучу здатність колон. Було поставлено експеримент у загальній кількості понад 100 колон із високоміцного бетону міцністю від 70 МПа до 125 МПа. Коефіцієнт армування варіювався від 0,9% до 4,19%, максимальна гнучкість у колон $A=l_0/h$ від 4 до 30 і відносний ексцентриситет, e_0/h - від 0 до 0,5. У результатах експериментів Кім Ж.К. і Янг Ж.К. ідеться про те, що зі збільшенням коефіцієнта армування удвічі в позацентрово стиснутих "коротких" колонах із класом бетону С50/60 за однакового відносного ексцентриситету несуча здатність колон зростає лише на 5%.

Аналізуючи результати експериментів Чуанг П.Х., Фостер Ж.А., Атард М.М., Клеасон К. і Конг Ф.К., можна дійти висновку, що за класом бетону С50/60 і коефіцієнтом армування менше ніж 1%, зі збільшенням відносного ексцентриситету в 2 рази несуча здатність у "коротких" колон зменшується на 40%. Зі збільшенням гнучкості несуча здатність зменшується майже на 60%. За високих класів бетону в обох випадках зменшення несучої здатності становить відповідно 35% і 55%. Коли збільшується коефіцієнт армування, то несуча

здатність колон у разі зміни відносного ексцентриситету в 2 рази за незмінної гнучкості зменшується на 20%. Якщо коефіцієнт армування перевищує 4% за гнучкості $A_s = 30$, збільшення відносного ексцентриситету в 3 рази (від 0,1 до 0,3) призводить до зменшення несучої здатності на 15%. Це свідчить про те, що за раціонального підбору коефіцієнта армування можна досягти максимального ефекту збільшення несучої здатності колони. У цих роботах наводиться тільки аналіз даних і порівняння їх із теоретичними значеннями.

Сьогодні концепцію бетонів з високими експлуатаційними властивостями можна викласти таким чином [28,29]:

а) доступна технологія виробництва бетонних сумішей і бетонів із широким діапазоном властивостей, що ґрунтується на використанні сформованої виробничої бази та традиційних матеріалів;

б) високі фізико-технічні характеристики бетонів - висока міцність, низька проникність для води та газів, низька усадка та повзучість, підвищена корозійна стійкість та довговічність, тобто властивості, поєднання яких або перевага однієї з яких забезпечує високу надійність конструкцій за будь-яких умов експлуатації. Такий підхід цілком обґрунтований [34]: з одного боку, бетон має зберегти всі переваги, які зробили його основним конструкційним матеріалом будівництва, тобто виготовлятися, головним чином, на основі місцевих ресурсів у безпосередній близькості від будмайданчиків, з невеликими трудовитратами як під час приготування сумішей, так і під час бетонування конструкцій; з іншого боку, він повинен володіти достатнім потенціалом, щоб сприймати без "вторинного" захисту підвищені фізико-механічні навантаження під час експлуатації конструкцій у різних, зокрема в дужеагресивних середовищах.

Реалізація концепції таких бетонів виявилася можливою, перш за все, завдяки появі на вітчизняному будівельному ринку органомінеральних модифікаторів - мікрокремнезему, що являє собою порошкоподібний матеріал, високодисперсний. Унікальні бетони, що набули достатнього поширення останніми роками, представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Унікальні бетони в сучасному будівництві

Термін	Параметр	Застосування
Надвисокоміцний бетон Ultra High- Strength Concrete (UHSC)	Міцність на стиск вище 150МПа	Спеціальні конструкції та елементи
Бетони з поліпшеними деформаційними характеристиками Shrinkage compensated Concrete	Бетони з компенсованою усадкою або з розширенням. Бетони з підвищеною термічною тріщиностійкістю	Протяжні монолітні конструкції. Масивні фундаментні плити
Самоущільнювальні бетони Self-Compacting Concrete	Високорухливі - саовирівнювальні суміші стабільної консистенції з розпливом конуса понад 60см, які не потребують віброущільнення	Густоармовані конструкції складної конфігурації
Порошкові бетони Reactive powder Concrete	Дрібнозернисті бетони міцністю 180...250 МПа	Дрібнооб'ємні елементи, огороджувальні конструкції та деталі

Створення бетонів нового покоління базується на подальшому розвитку теорії твердіння багатокомпонентних систем, що дають змогу створювати міцний, морозостійкий, водонепроникний і довговічний бетон. Найважливішим завданням будівельної індустрії є подальший розвиток тісної збалансованої співпраці вчених і виробників. Високоміцні бетони швидше набирають міцність, ніж традиційні.

Переваги застосування високоміцних бетонів:

- скорочення габаритів опалубки для колон, балок і стінових елементів;
- зменшення будівельної товщини при збільшенні несучої здатності конструкцій, що працюють на вигин;
- створення більш витончених контурів при збільшенні довжини прольотів;
- конструкцій, що працюють на вигин (великопролітні мости);
- однакові розміри опалубки в умовах заводського виробництва колон, розрахованих на різне навантаження, або для виробництва колон для всіх

- поверхів при монолітному будівництві (високоміцний бетон на нижніх поверхах);
- скорочення витрат бетону й арматури і, відповідно, транспортувальної та монтажної маси;
 - підвищена початкова міцність, що забезпечує можливість більш ранньої експлуатації елемента;
 - вища щільність, водо- і газонепроникність завдяки низькому вмісту капілярних пор;
 - збільшена зносостійкість;
 - підвищений корозійний захист арматури за рахунок надзвичайно повільного поширення карбонізації;
 - підвищена стійкість до хімічно активних речовин.

Розв'язання цієї задачі стосовно залізобетонної плити перекриття однакової несучої здатності за незмінною частиною навантаження, що охоплює "корисне" і навантаження від ваги підлоги та перегородок, і змінної частини - навантаження від власної ваги плити у разі зміни її товщини наводиться нижче.

Показники матеріаломісткості плоскої плити при підвищенні її товщини h для бетону однакового перекриття при класі міцності визначаються дією кількох конкуруючих чинників [5,7]:

1. Збільшення плеча внутрішньої пари сил z_b за абсолютним значенню, що за збереження площі робочої арматури зумовлює підвищення несучої здатності перерізу за згинальним моментом.

2. За сталості фактора a , $+ d/2$ (a , - товщина захисного шару, $d/2$ - півдіаметр стрижнів робочої арматури) плече зі збільшенням товщини буде збільшуватися відносно товщини плити h прискорено.

3. Негативним фактором у цих умовах є підвищення сумарного розрахункового навантаження на одиницю площі перекриття, зумовлене збільшенням навантаження від власної ваги плити. Кількісна оцінка, виконана стосовно плитних конструкцій у досліджуваному діапазоні товщин $h - h_2$ з використанням бетонів класів міцності С20-60, засвідчила, що в цьому процесі домінуючою є дія позитивних чинників. [5,7]

Проведені розрахунки підтвердилися правильністю положень про межі та критерії (області) зниження матеріаломісткості (витрат арматури і бетону) згинальних елементів безригельного каркасу [7]. Основною областю застосування високоміцних бетонів є багатоповерхове і висотне будівництво.

У цій роботі розглядаються плити перекриття з бетону з мікрокремнеземом С25-С40. Мікрокремнезем (далі МКЗ) є ультрадисперсним матеріалом, що вловлюється рукавними фільтрами газоочисних установок, феросплавного виробництва. Основним компонентом ультрадисперсних відходів є діоксид кремнію аморфної модифікації SiO_2 .

1.2 Особливості застосування модифікованих бетонів у будівництві

Основними рушіями технічного прогресу в технології бетону завжди були дві ключові задачі: отримання міцного і довговічного бетону і зниження трудових та енергетичних витрат при його виробництві. Довгий час не вдавалося знайти спільного вирішення цих, здавалося б, суперечливих завдань. З одного боку виробництво міцних і довговічних бетонів було пов'язане з інтенсивними механічними впливами на бетонну суміш, що неминуче збільшувало витрати. З іншого боку, отримання високорухомих бетонних сумішей відбувалося, головним чином, завдяки збільшенню витрат води, що зі свого боку призводило до зниження міцності бетону. З появою суперпластифікаторів (СП) у середині 70-х років значною мірою були вирішені одночасно обидва завдання. Як відомо, формування високоміцної і щільної структури цементного каменю і бетону можливе шляхом введення в цементну систему дисперсних і ультрадисперсних матеріалів, що містять переважно аморфний діоксид кремнію.

Перехід від збірного до монолітного будівництва висуває нові вимоги до якості бетонних сумішей і бетонів на всіх етапах цього процесу. Для підвищення технологічної забезпеченості проектних рішень застосовують бетони нового покоління з високими технологічними та експлуатаційними властивостями, з гарантованими показниками якості, яким відводиться важлива роль у складних

інженерних спорудах XXI століття [19]. За десятиліття завдяки появі нових ефективних хімічних добавок і використанню ефекту зміни властивостей мінеральних матеріалів (компонентів бетону) за особливо тонкого подрібнення, тобто при застосуванні їх у високодисперсному стані, з'явилася можливість докорінно змінювати властивості бетону. Цілеспрямоване поєднання водоредукуючих хімічних добавок, зокрема суперпластифікаторів, і, наприклад, високодисперсних кремнеземовмісних матеріалів дає змогу отримати бетони високої міцності та довговічності на звичайних цементах. Такі бетони затребувані практикою сучасного будівництва і призначені для зведення спеціальних та унікальних споруд [26]. Це стимулює особливий останнім часом інтерес до проблеми використання високодисперсних мінеральних матеріалів у технології бетону. З фундаментальних положень фізико-хімії випливає, що високодисперсні матеріали з розмірами частинок менше ніж 1 мкм (за усталеною термінологією це - тонкодисперсні або ультрадисперсні матеріали) мають низку властивостей, в основі яких лежать молекулярні процеси та явища в поверхневому шарі твердої частинки [16,25].

Сьогодні концепцію бетонів з високими експлуатаційними властивостями можна викласти так:

а) доступна технологія виробництва бетонних сумішей і бетонів ізшироким діапазоном властивостей, що ґрунтується на використанні сформованої виробничої бази та традиційних матеріалів; б) високі фізико-технічні характеристики бетонів - висока міцність, низька проникність для води та газів, низька усадка та повзучість, підвищена корозійна стійкість та довговічність, тобто властивості, поєднання яких або перевага одного - з яких забезпечує високу надійність конструкцій за будь-яких умов експлуатації.

Реалізація концепції таких бетонів виявилася можливою насамперед завдяки появі на вітчизняному будівельному ринку органомінеральних модифікаторів. Підвищена щільність модифікаторів робить їх більш технологічними і транспортабельними добавками, що істотно знижує відповідні витрати у виробників бетонів. Зазначені переваги модифікаторів дали змогу за

короткий термін організувати масове виробництво бетонів нового покоління - високої міцності, низької проникності, підвищеної корозійної стійкості та морозостійкості.

Добавки природного походження, отримані під час помелу вулканічних (туфи, пемзи, траси, попелища) і осадових (трепели, опоки, діатоміти, глієжі) порід, використовують переважно під час виробництва цементів. Містять у своєму складі, в основному, аморфний кремнезем і володіють пуццолановою активністю, вони являють собою по-суті активні мікронаповнювачі, які дозволяють частково заміщати клінкерну масу, не знижуючи активності цементу, а також надавати цементу особливі властивості, скорочуючи при цьому його вартість. Історія застосування цих добавок у технології в'язучих давня і починається з самого зародження цементної промисловості. Тому ми маємо багату науково-технічну інформацію про властивості як цементів, так і бетонів з мікронаповнювачами природного походження. До цієї категорії мінеральних добавок можна зарахувати й природні матеріали, які не містять аморфного кремнезему: тонкомелені кварцові піски й особливо вапняки, що складаються, здебільшого, з кальциту, і доломіту, з погляду пуццоланової активності є "інертними" матеріалами, проте за певного ступеня дисперсності (зазвичай відповідного до дисперсності цементу) стають ефективними мікронаповнювачами. Порівняно нетривалий, приблизно двадцятирічний, досвід масового застосування тонкомелених вапняків у західноєвропейських країнах уже показав можливість розв'язання за їхньою допомогою проблем економії цементу або отримання міцніших і щільніших бетонів.

Кремнеземовмісні мінеральні добавки техногенного походження (золи виносу, гранульовані шлаки, мікрокремнезем, золи від згорання рисового лущиння) є відходами різних виробництв і мають значно коротшу, ніж пуццоланово - активні природні мікронаповнювачі, історію. Однак інтерес до них, стрімко зростає. Цьому сприяють дві обставини: перше - екологічні проблеми та необхідність утилізації відходів, друге - можливість за їхньою допомогою скоротити енергетичні та матеріальні витрати під час виробництва в'язучих і

бетонів. Введення мікрокремнезему замість частини цементу призводить до природного зменшення у складі в'язучого мінералів C3A і C3S, що мають найбільшу адсорбційну здатність. При перемішуванні тисячі реактивних сферичних мікрочастинок МК оточують кожне зерно цементу і заповнювача, ущільнюючи цементний розчин, заповнюючи порожнечі міцними продуктами гідратації і покращуючи зчеплення із заповнювачами. Велика частина добавок заснована на мікрокремнеземі (МКЗ). Широке поширення МКЗ у будівництві зумовлене його позитивним впливом на властивості бетону. МКЗ призводить до поліпшення таких характеристик бетону: міцність на стиск, міцність зчеплення з іншими матеріалами, зносостійкість, морозостійкість, хімічна стійкість, значно знижується водонепроникність. За допомогою мікрокремнезему можливо отримати міцний, довговічний матеріал зі щільною структурою, тобто з необхідними фізико-механічними характеристиками.

Мікрокремнезем давно широко застосовується в усьому світі, з метою зниження витрати цементу, або з метою поліпшення властивостей бетонної суміші, бетону. Вперше матеріал було утилізовано в Японії. Слід зазначити універсальність добавки МКЗ як дисперсії, що впливає на тиксотропні властивості системи, через зміну протяжності структурних елементів - ланцюжків і їхнього переходу під час контактних взаємодій у просторові каркасні осередки. Ця умова відповідає мінімальним значенням міжфазного натягу за максимального розвитку граничних поверхонь, що передбачає існування великої кількості точкових коагуляційних контактів аж до створення гранично наповненої системи, в якій колективний перехід до зчеплення в ближньому порядку викликає різке зміцнення. Такий етап гідратоутворення з колоїдацією кремнеземних частинок, за рахунок яких формуються просторові пакування, призводить до самоармування цементної системи композиту, що твердне. Локалізація дисперсних частинок та енергетика міжчастинкових зв'язків - надійна гарантія від корозійного та ерозійного старіння бетону, розвитку його усадочних деформацій, підвищення його міцності та тріщиностійкості, а також водонепроникності.

Загалом добавка МК є високоефективним модифікатором структури бетону

як композиційного матеріалу, отриманого на основі наукомісткої технології. Шенфельд А.В., які вивчав проблему отримання високоміцних бетонів, або бетонів середніх класів, але зі зниженою витратою цементу при одночасному збереженні міцності та інших показників, зупинилися на мікрокремнеземі (відхід феросплавних заводів), який є високо-дисперсним матеріалом, що має малу густину та інші позитивні властивості. Однак вплив ролі мікрокремнезему в таких матеріалах, як полімери із застосуванням цементу, не було вивчено, тому треба було провести спеціальні дослідження [15].

Таблиця 2.1 - Кількісний склад мікрокремнеземів різних марок

марка	Найменування та маркування сплавів	Вміст компонентів, %										
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	SiC	Cr ₂ O ₃	MnO	п.п.п.
Кр	Кристалічний кремній марок Кр- 1, Кр-2	97	1,4	0,5	1,2	-	-	-	4,2	-	-	2,0
Фс	Феросиліцій марок ФС-90, СФ-75	90,1	2,0	1,7	2,3	0,8	1,9	0,6	-	-	-	1,6
Фс	Те саме, марок ФС-75, ФС-65	89,2	0,4	1,7	2,1	1,7	1,4	0,5	-	-	-	1,8
Фс	Те саме, марок ФС-65, ФС-45	70,1	3,4	2,0	11,4	0,1	0,9	0,4	-	-	-	11,7
Фсх	Феро-силікохром марки ФСХ-40	66,1	2,2	1,3	0,4	14,6	-	-	-	2,2	-	2,0
Фх	Феро-хром марки ФХ-800	16,0	1,8	6,6	0,5	38,3	-	-	-	22,2	-	2,0
См	Силіко- маргонєць марки СМн-20	33,8	2,3	3,9	4,6	4,0	2,4	3,4	-	-	39,1	1,6
Зу	Зола-винос ТЕС	59,9	5,5	30,5	0,2	1,0	0,6	0,1	-	-	-	1,9
Т	Трепел	51,5	1,5	4,4	21,9	0,2	1,1	0,7	-	-	-	18,4

Таблиця 1.2 - Характеристики мікрокремнезему різних марок

Позначення мікронаповнювачів	Вміст SiO ₂ , %		Питома поверхня, м ² /г		Середній розмір частинок, мкм	Гідравлічна активність, СаО мг/г		Насипна маса, т/м ³	Ефективна густина, т/м ³	Водопотреба, %
	у сплавах	у відходах	за відсорбцією	По проникненню ртуті		850°С	200°С			
Кр	97-98	92/92	25,0	23,9	0,20	102	518	0,15	2,16	42
Фс	74-98	90/90	20,2	24,5	0,25	102	500	0,26	2,22	40
Фс	63-80	89/89	24,6	23,6	0,30	104	380	0,24	2,20	61
Фс	41-68	70/70	44,9	37,9	0,17	101	480	0,16	2,07	137
Фсх	37-45	66/60	18,5	21,3	0,25	103	450	0,26	2,84	40
Фх	2	16/10	6,3	9,5	0,43	15	46	0,42	3,10	44
Зу	20-26	34/31	4,9	5,5	0,70	25	150	0,62	3,03	33

Дослідження систем у вигляді суміші цементу і мікрокремнезему різних за хіміко-мінералогічним складом МКЗ, отриманих конденсацією з газової фази (див. таблицю 1.2), дають змогу виявити загальні закономірності структуроутворення цементного каменю. Процес формування структури цементного каменю можна умовно поділити на дві стадії: першу, коли система перебуває в пластичному стані, що зумовлено наявністю оборотних коагуляційних контактів (від моменту приготування до кінця тужавлення), і другу, коли система набуває достатньої структурної міцності, що зумовлено наявністю незворотних фазових контактів (від моменту кінця тужавлення до всього подальшого періоду існування системи).

На першій стадії навколо частинок твердої фази в суспензіях утворюються адсорбційно-сольватні шари води, товщина яких залежить від дисперсності частинок. Це адсорбційно зв'язана вода, яка перебуває в полі поверхневих сил і може розглядатися як полімолекулярний змочувальний шар, здатний створювати "розклинювальний тиск".

Вищенаведені дані дають змогу визначити закономірність формування структури цементного каменю і регулювати його властивості, зокрема міцність, щільність, морозостійкість, водонепроникність та інші. Бетонні суміші з МКЗ мають яскраво виражені тиксотропні властивості. Це проявляється в підвищеній легкоукладальності малорухомих сумішей.

Введення до складу бетонних сумішей МКЗ при незмінній витраті цементу дає змогу отримати приріст міцності бетонів від 40 до 70%. Позитивний вплив добавки МКЗ на міцнісні властивості бетонів може бути використано для значного зниження витрат цементу.

Проектування конструкцій багатоповерхових будівель (висотних, великопрольотних) базується на створенні бетонів нового покоління, на подальшому розвитку теорії тверднення багатокомпонентних систем, що дають змогу створювати міцний, морозостійкий, водонепроникний і довговічний бетон. Найважливішим завданням будівельної індустрії є подальший розвиток тісної збалансованої співпраці вчених і виробників. Підбір складу бетонної суміші із застосуванням мікрокремнезему з прив'язкою до місцевих матеріалів.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вивчення процесу структуроутворення в цементних системах з мікрокремнеземом

Під час вивчення отримання високоміцних бетонів зупинилися на мікрокремнеземі (відході феросплавних заводів), що є високодисперсним матеріалом, що має малу щільність серед великої кількості хімічних і мінеральних добавок-модифікаторів різного призначення, які дають змогу ефективно вирішувати актуальні техніко-економічні показники залізобетонних конструкцій.

Шенфельд А.В., Баженов Ю.М. вивчали проблему отримання бетонів зі зниженою витратою цементу і мікрокремнеземом, з вивченням фізико-механічних властивостей.

Мікрокремнезем є ультрадисперсним матеріалом, що вловлюється рукавними фільтрами газоочисних установок феросплавного виробництва. Основним компонентом ультрадисперсних відходів є діоксид кремнію аморфної модифікації SiO_2 .

Проведено дослідження про вплив мікрокремнезему на цементний камінь [9-13]. Кремнезем, будучи відходом феросплавних виробництв, одержуваним під час газоочищення печей, містить як основний компонент діоксид кремнію аморфної модифікації SiO_2 . Середня густина частинок мікрокремнезему 2,1 - 2,3 г/см³ (цементу 3,1 г/см³), насипна густина 0,15-0,20 г/см³, розмір зерна - менше ніж 0,1 мкм (у 50 разів менша за розмір частинок цементу), питома поверхня 200000-250000 см²/г (цементу близько 4600 см²/г). Вміст оксиду кремнію в мікрокремнеземі сягає 90,7%, а інколи до 96%. Серед інших складових переважають оксиди кальцію, магнію та заліза.

Важливо враховувати комплекс чинників і показників, які позначаються на технологічних і технічних характеристиках цементного каменю: на водопотребі, міцності, витраті СП (суперпластифікатора), тому що мікрокремнезем завдяки своїй великій питомій поверхні - водоспоживає, щоб знизити витрату води, тобто

наявність води не в найкращий бік впливає на якість бетонів, вводять суперпластифікатор цементу, мікронаповнювачів. Оцінку ефективності мікрокремнезему проводили за емпіричною формулою [15].

$$K_{\varepsilon} = \frac{R_i}{\sqrt{100 \cdot [C_i + 32(C_i + C_k)]}} \quad (2.1)$$

Де R_i - міцність бетону в зразках із мікронаповнювачами відносно міцності контрольного зразка з СП-1, %;

C_i - витрата цементу в зразках з мікронаповнювачами відносно витрати цементу в контрольному зразку з СП-1, %;

32 - коефіцієнт зниження витрати цементу при введенні СП, що визначається за формулою [6-8]:

$$K_{Ц} = 100 \frac{C_0 - C_k}{C_0 C_k} \quad (2.2)$$

де, C_0 C_k - витрата цементу в контрольних зразках, відповідно, без добавки і з СП-1, кг.

Для оцінки величини приросту міцності у віці 28 діб запропоновано емпіричну формулу (2.2), що дає змогу визначити цей параметр залежно від дозування мікрокремнезему, його пуццоланової активності, ступеня гідратації та капілярної пористості системи. Формула, яка є досить точною за різних дозувань кремнезему від маси цементу, виведена на підставі низки передумов:

- величина пуццоланової активності кремнезему залежить від вмісту аморфного SiO_2 .
- зміна щільності структури цементного каменю при введенні кремнезему пов'язана з об'ємом гелевих і капілярних пір і меншою мірою з об'ємом макропор (технологічних).
- гелева пористість визначається ступенем гідратації та кількістю

CSH(I) у цементному камені, на яку впливає співвідношення $\text{SiO}_2/\text{Ca}(\text{OH})_2$. Капілярна пористість визначається водоцементним відношенням, ступенем гідратації та вмістом кремнезему МКЗ.

$$R = K \left(\frac{S}{CI} \right)^2 \left(\frac{B - 0,5 \cdot \alpha \cdot Ц}{10 \cdot C} \right)^2 \% \quad (2.3)$$

де K - коефіцієнт, що враховує різницю молекулярних мас SiO_2 і $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

S - абсолютний вміст SiO_2 у складі змішаного в'язучого, %;

CI - вміст портландцементу в цементному камені без кремнезему приймається рівним 15%;

α - ступінь гідратації портландцементу, %;

C - дозування кремнезему МКЗ, % Ц.

Вищенаведені дані дають змогу визначити закономірність формування структури цементного каменю і регулювати його властивості, зокрема міцність, густину, морозостійкість, водонепроникність та інші. Вони дають змогу визначити раціональні склади важкого бетону різних класів, дослідження з добору яких, викладені нижче.

2.2 Експериментальні дослідження складів високоміцних бетонів на цементах М 400-500

Для проведення експериментальних досліджень використовували такі вихідні матеріали: портландцемент М-400, М-500; пісок з модулем 2,37 - у ньому дрібного гравію 4,5%; щебінь фракції 5-20; мікрокремнезем МК-85 неущільнений і мікрокремнезем МКУ-85 ущільнений; суперпластифікатор густиною $\rho=1.049$; вода.

Склади бетонних сумішей (контрольні) визначалися із затвердженої керівником таблиці робочих складів М200, М300, М350. Склади з мікрокремнеземом визначалися розрахунково-експериментальним шляхом для

дослідних замісів з метою визначити на подальшу роботу в будівництві - робочих складів.

Хімічний склад зумовлений номенклатурою феросплавів, виплавлених у печах. У таблиці 2.1 наведено склади відходів мікрокремнезему конденсованого ущільненого.

Методика досліджень полягає у проведенні експериментальних робіт щодо технологічних етапів приготування бетонної суміші з мікрокремнеземом для виробництва бетонів високої міцності, густини, довговічності, а також з малоенергоємних бетонів, які потребують мінімальних витрат теплової енергії та цементу. Організації виробництва таких бетонів передувала робота з консистенції ультрадисперсних кремнеземвмісних матеріалів. Як зазначалося раніше, такими матеріалами можуть бути продукти сухого газоочищення печей - мікрокремнезем неущільнений МК-85, мікрокремнезем ущільнений МКУ-85.

З метою оцінки властивостей бетонних сумішей і визначення впливу технологічної послідовності приготування сумішей на властивості бетону, проводили випробування зразків, виготовлених у змішувачі примусової дії двома способами. У першому випадку в суміш цементу і СП-1 вводили заповнювачі, потім, після попереднього перемішування, додавали воду з добавкою СП-1, у другому випадку суміш готували у звичайній послідовності, а МКЗ вводили в бетонозмішувач у вигляді суспензії 40 відсоткової концентрації з розчином добавки СП-1 і водою (час живучості суспензії три доби відповідно до ТУ). Час перемішування віддозованих матеріалів 3 хв. Матеріалами були портландцементи М400-500, кварцовий пісок з $M_{кр}=2,37$, гранітний щебінь 5-20 мм (рисунок 2.1).

Усі зразки, що пройшли ТВО, були зважені, заміряні, випробувані на пресі. Зразки виготовляли у вигляді куба ребрами 10 см. Бетонна суміш піддалася вібруванню. Бетонні суміші з МКЗ менш схильні до розшарування, особливо в присутності пластифікатора. Однак при застосуванні довготривалої вібрації такі бетони можуть розшаровуватися, особливо при великій рухливості.

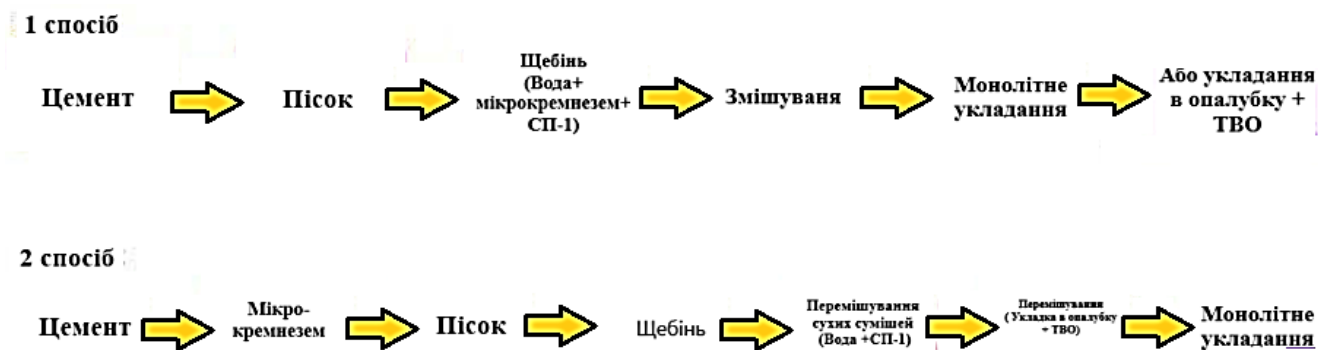


Рисунок 2.1 - Технологічна схема виготовлення бетонів різних марок

Таблиця 2.1 - Хімічний склад МКЗ

SiO ₂	П.П.П.П.	H ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	SO ₃	Щіль. насипу	Пит. Площа частинок
%	%	%	%	%	%	%	т/м ³	м / г ²
90	2,5	0,26	1,26	1,85	0,44	0,7	0,4-0,6	15

Таблиця 2.2 - Склади бетонних сумішей та їх міцності

Найменування матеріалів	Од. вим.	Класи бетону						
		C30/35	C25/30	C20/25	C16/20	C16/20	C12/15	C40/50
Цемент	кг/м ³	500	450	390	330	310	305	-
		275	250	230	200	180	165	355
Мікрокремнезем	кг/м ³	-	-	-	-	-	-	-
		55	50	45	40	35	30	70
Пісок	кг/м ³	640	750	820	870	890	770	-
		885	915	940	905	880	860	805
Щебінь фр.5-20мм	кг/м ³	1140	1110	1060	1070	1100	1195	-
		1065	1060	1065	1125	1135	1140	1110
Вода	кг/м ³	185	180	180	180	180	200	-
		190	205	200	190	200	205	160
Добавка СП-1:	% від ваги цементу	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	-
		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
Щільність бетонної суміші	кг/м ³	2,47	2,49	2,45	2,45	2,48	2,47	-
		2,47	2,48	2,48	2,46	2,43	2,40	2,50
УК одразу/ 10хв.	см	10÷15	10÷15	5÷9	5÷9	5÷9	5÷9	-
		10÷15	10÷15	5÷9	5÷9	5÷9	5÷9	10÷15
В/Ц		0,37	0,40	0,47	0,55	0,58	0,66	-
		0,58	0,68	0,73	0,79	0,93	1,05	0,38
Вагова частка піску		0,36	0,40	0,44	0,45	0,45	0,39	-
		0,45	0,46	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42
R5 ТВО	МПа	41,9	30,5	34,7	28,6	23,2	21,4	55,9
R28 ТВО	МПа	48,9	30,3	35,0	28,9	26,8	24,1	60,1

Вивчалася рухливість бетонної суміші для виробництва різних конструкцій. (Рисунок 2.2-2.3).



Рисунок 2.2 - Вивчення рухливості бетонної суміші за усадкою конуса



Рисунок 2.3 - Зберігання зразків для визначення міцності у віці 28 діб для застосування в монолітному житловому будівництві

Водопотреба мікрокремнезему вища, ніж у цементу. МКЗ може застосовуватися як у сухому вигляді, так і у вигляді водної пульпи. Для зниження

водопотреби суміші в цьому випадку застосовували суперпластифікатор СП1 у вигляді водяного розчину щільністю $1,049 \text{ гр/см}^3$.

Оскільки МКЗ істотно скорочує водовідділення, виникає ризик пластичної усадки, який посилюється при випаровуванні води. Цей процес може тривати до початку схоплювання бетонної суміші. Для зменшення усадочних тріщин при пластичній усадці необхідно використовувати різні покриття бетону, що запобігають швидкому випаровуванню води. Навпаки тріщиноутворення бетонів з МКЗ менше, ніж у звичайних бетонів. Деформаційні властивості бетонів (усадка, повзучість) при заміні до 25% цементу мікрокремнеземом не погіршуються.

Досліджено поведінку арматурної сталі: при дозуваннях мікрокремнезему до 20% від маси цементу в бетонах на портландцементі в разі неагресивності води-середовища забезпечується пасивний стан арматури. Використання до 20% мікрокремнезему дає змогу отримувати особливо щільні бетони, що забезпечує надійний захист арматури під час експлуатації конструкцій за відносної вологості газоповітряного середовища до 75%.

Низька проникність і підвищена щільність цементного каменю забезпечує прекрасну морозостійкість бетону з мікрокремнеземом. Не існує несумісності його з повітровтягувальними добавками, насправді стабільна реологічна структура пластичного бетону з МКЗ зменшує втрату втягнутого повітря під час транспортування та вібрування.

Під час вивчення впливу мікрокремнезему різних дозувань на низку властивостей цементного тіста було розглянуто такі його показники, як густина, строки схоплювання, кінетика наростання пластичної міцності тощо. Введення різних кількостей мікрокремнезему супроводжується збільшенням нормальної густоти цементного тіста, причому тим більшою мірою, чим вищим є його дозування в таблиці 2.3.

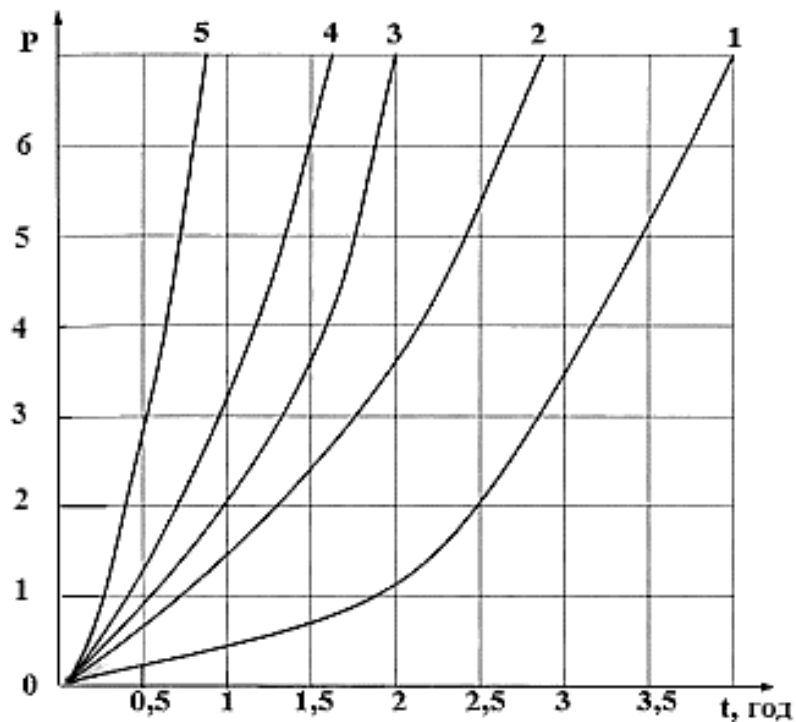
Таблиця 2.3 - Оптимальне введення мікрокремнезему в бетонну суміш

№	Кількість кремнезему	Нормальна густина, %
1	0	26,25
2	10	28,50
3	20	34,50
4	30	38,75
5	40	45,66

Збільшення вмісту мікрокремнезему призводить до скорочення термінів початку схоплювання і наростання його пластичної міцності.

Введення до складу в'язучого кремнезему (без суперпластифікатора СП-1) призводить до подовження термінів початку і кінця схоплювання порівняно з цементним тістом без добавки. Цей факт є наслідком збільшення нормальної густоти цементного тіста. Час початку схоплювання цементних паст, до складу яких введено кремнезем, перебуває приблизно на одному і тому ж рівні. Кінець же схоплювання подовжується в міру збільшення дозування кремнезему до 30%, а потім, при дозуванні кремнезему 40%, дещо скорочується.

Терміни схоплювання цементного тіста є непрямою характеристикою протікання процесів початкового структуроутворення в ньому. У розглянутих цементних системах процес структуроутворення протікає найінтенсивніше в разі застосування 40% кремнезему. Введення до складу цементних паст суперпластифікатора СП-1 змінює картину, причому неоднозначно. Спільне застосування суперпластифіката і кремнезему у всіх дослідженнях дозування призводить до скорочення термінів початку і кінця схоплювання порівняно з цементними пастами без суперпластифікатора СП-1. Уповільнення (порівняно з цементною пастою без суперпластифікатора) початку і кінця тужавлення мають місце тільки за дозування кремнезему 40%. Нижчі значення (10,20 і 30%) кремнезему або прискорюють процес тужавлення, або залишають його на рівні еталону, рисунок 2.4.



1- цемент без добавок; 2- цемент + 10% МКЗ + 0,2% СП-1; 3- цемент + 10% МКЗ + 0,2% СП-1; 4- цемент + 30% МКЗ + 0,5% СП-1; 5- цемент + 40% МКЗ + 0,8% СП-1.

Рисунок 2.4 - Вплив кремнезему на кінетику наростання пластичної міцності цементного тіста

Застосування кремнезему і суперпластифікатора СП-1 є ефективним засобом економії цементу в композитах, виготовлених як з низькою, так і з високою його витратою. Крім того, отримані результати свідчать про те, що поряд зі значною економією цементу має місце істотний приріст міцності матеріалу, що відкриває певні можливості для отримання високоміцних бетонів.

На рисунку 2.6 наведено результати визначення СаО у зразках цементного каменю залежно від умов твердіння і дозування МКЗ.

Вивчалася водопотреба цементних суспензій залежно від дозувань МКЗ
рисунок 2.5.

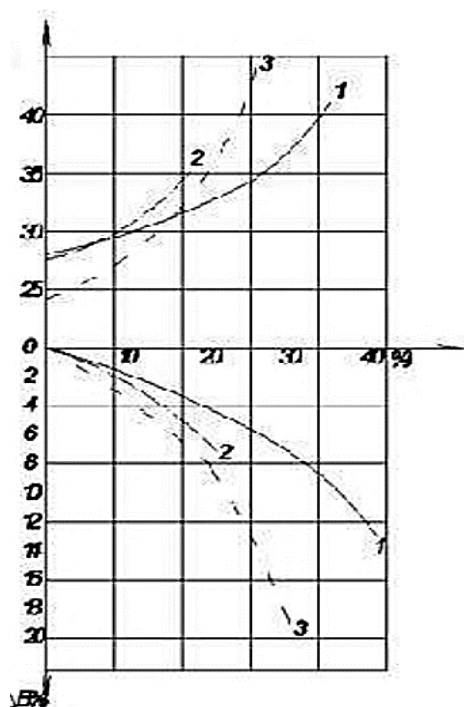


Рисунок 2.5 - Зміна водопотреби цементних суспензій залежно від дозувань МКЗ

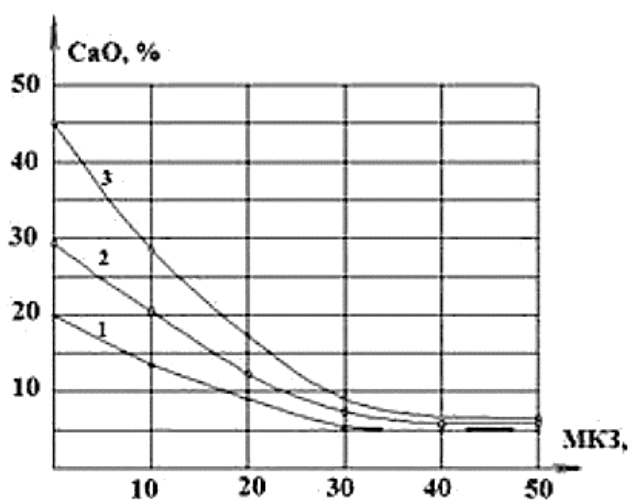


Рисунок 2.6 - Вміст вільного вапна у зразках цементного каменю з різними дозуваннями МКЗ

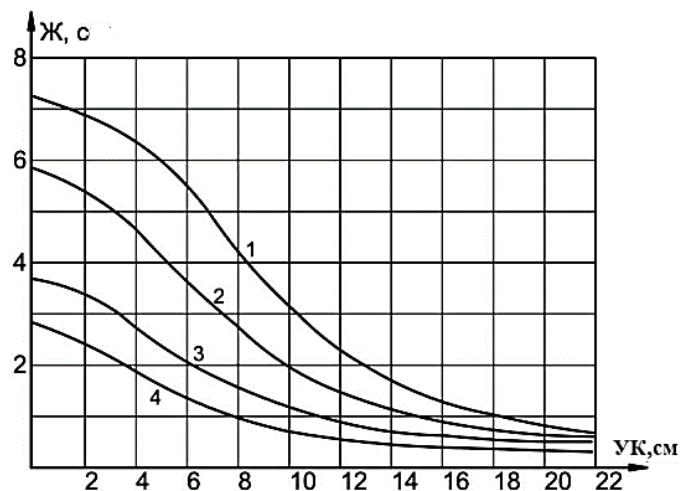
У процесі експерименту визначали зміну рухливості сумішей у часі та залежність легкоукладальності, яка характеризувалася жорсткістю, від рухливості, що вимірюється осадкою конуса. Міцність визначали випробуванням зразків із розміром ребра 10 см, що тверділи в нормальних умовах і при тепловологісній обробці, яку проводили у двох режимах. Перший режим: 3+3+6+2 за температури ізотерми 900С, другий режим за тривалістю такий самий, але з температурою ізотерми 600С.

У результаті експерименту встановлено, що суміші, приготовані шляхом введення в змішувач МКЗ у сухому вигляді, через 10 хвилин стрімко втрачають рухливість, що створює певні незручності під час виконання робіт. Це пов'язано з кінетикою вимірювання водопотреби сумішей до моменту насичення ультрадисперсного матеріалу водою, що настає залежно від дозування МКЗ через 6-10 хвилин, після перемішування всіх компонентів бетонної суміші.

При приготуванні сумішей із введенням МКЗ у змішувач у вигляді суспензій, рухливість у часі змінюється порівняно рівномірно. Стабільність

консистенції бетонних сумішей у часі виявилася одним із вирішальних чинників, що визначили вибір технології з подачею МКЗ у змішувач у вигляді суспензії.

Наведені на рисунку 2.7 дані свідчать про те, що бетонні суміші з ультрадисперсним наповнювачем мають кращу легкоукладальність, тобто яскравіше виражені тиксотропні властивості, ніж звичайні суміші такої самої рухливості. При цьому легкоукладальність підвищується зі збільшенням у складі сумішей частки заміщеного мікрокремнеземом цементу.



1 - суміші без добавок МКЗ і СП-1; 2 - суміші без МКЗ, щомістять СП-1; 3-суміші з СП-1 і заміщенням 20% цементу МКЗ; 4 - те саме, із заміщенням 30% цементу на МКЗ.

Рисунок 2.7 - Зміна легкоукладальності бетонних сумішей з МКЗ залежно від рухливості (Витрата в'язучого 300 кг/м^3)

Аналізуючи таблиці 2.4, де наведені склади бетонних сумішей і результати випробувань бетонів, найбільший приріст міцності досягається при дозуваннях МКЗ у кількості 20-30% від маси цементу. Як видно з таблиць, з використанням МКЗ можливе зниження витрати цементу до $160-180 \text{ кг/м}^3$ для отримання бетонів з міцністю на стиск до $M200 \text{ кг/см}^2$ і за витрати цементу $M400$ 440 кг/м^3 отримуємо міцність на стиск до $M700$ (Рис. 2.8).

Умови твердіння істотно впливають на властивості міцності бетонів: при твердінні в нормальних умовах інтенсивне наростання міцності відбувається в період від 7 до 20 діб, при твердінні в умовах ТВО, міцність збільшується з підвищенням температури ізотерми до 900C .

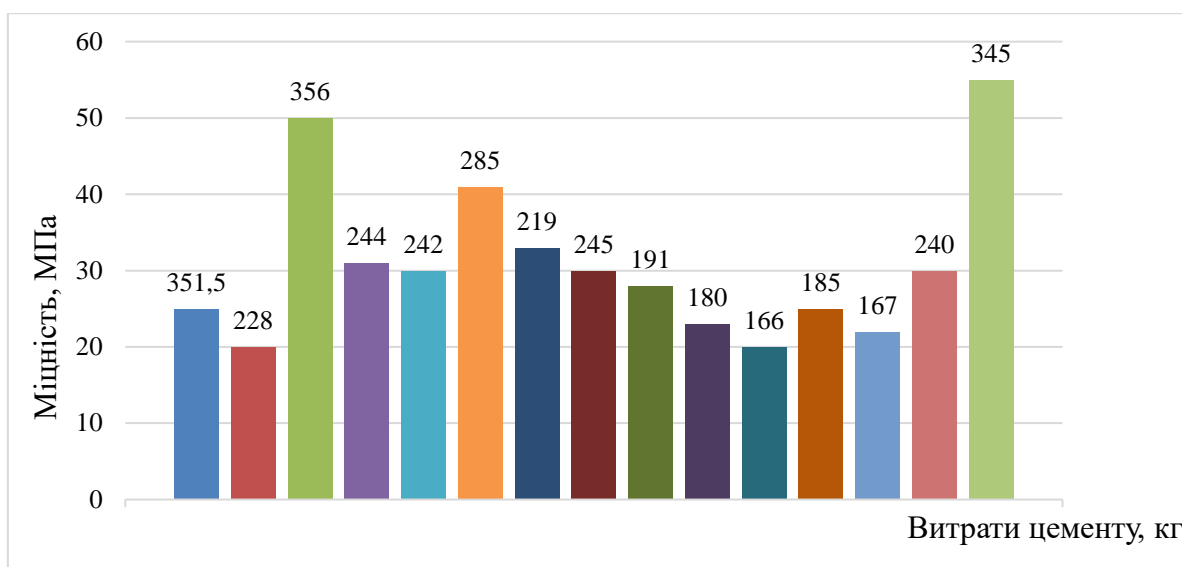
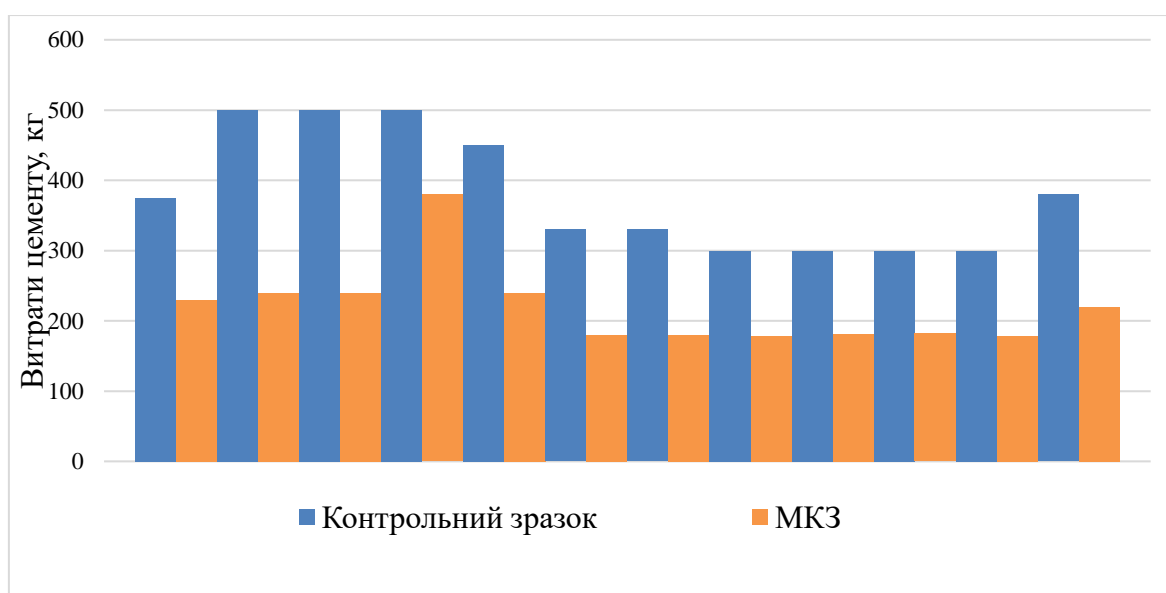


Рисунок 2.8 - Діаграма залежності міцності від витрати цементу з мікрокремнеземом



Контрольний зразок	32,4	38,5	38,6	32,3	31,2	34,8	24,1	15,8	23,8	15,8	30,9
МКЗ	21	32,3	31,9	33,6	30,8	30,7	27,6	21,3	25,4	22,4	30,6
Клас	C20/25	C30/35	C30/35	C30/35	C20/25	C25/30	C15/20	C10/15	C15/20	C10/15	C20/25

б)

Рисунок 2.9 - Діаграма залежності міцності від витрати цементу контрольних (заводських) і з мікрокремнеземом

Отримані результати свідчать про вищу ефективність мікрокремнезему. Зі збільшенням дозування мікрокремнезему скорочуються терміни набору

пластичної міцності цементного тіста, отже, швидше з'являються центри кристалізації, які сприяють прискоренню процесу тверднення цементної матриці. Поряд із прискоренням кінетичних процесів схоплювання та економії цементу в цьому випадку має місце істотний приріст міцності цементної матриці композиту залежно від вмісту мікрокремнезему в цементному тісті.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновок, що мікрокремнезем унікальна добавка до бетону, яка дає змогу на низьких витратах цементу одержати високі класи бетону, скоротити ТВО на 3-4 години, підвищити морозостійкість, водонепроникність, одержати високоміцні бетони з відпускнуою міцністю 30 МПа впродовж 24 годин, підвищити сульфатостійкість на звичайному порландцементі, покращити зв'язність литих бетонних сумішей, а найголовніше - виготовити як у заводських умовах, так і у монолітних конструкціях підвищеної міцності, що дуже важливо, у середині будівельного сезону. Будівля побудована менш масивною, відповідно навантаження на фундамент буде меншим. Висновок тут однозначний - висока міцність і довговічність при зниженій витраті цементу.

Результати свідчать про те, що незалежно від умов твердіння, у міру збільшення дозувань МКЗ кількість вільного вапна в зразках цементного каменю скорочується.

Практично дозування в 30% від маси цементу є порогом ефективності МКЗ.

РОЗДІЛ 3

ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РОЗРОБЛЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1 Обґрунтування обраного методу дослідження

Мета моделювання - вибір оптимальних параметрів варіантного перерізу залізобетонного елемента, що згинається. Для реалізації поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Розробити математичний апарат.
2. Накласти обмеження.
3. Розробити блок-схему.
4. Запрограмувати та перевірити отримані дані.

Як основний інструмент чисельних досліджень напружено- деформованого стану перекриттів, що згинаються, з бетону з мікрокремнеземом В25, В40, включеного в загальну роботу конструкції, можливе застосування пакета прикладних програм "SCAD" [11,19]. Програмні комплекси типу "SCAD" добре зарекомендували себе в інженерній практиці. Ці програми універсальні, дають змогу використовувати велику кількість типів скінченних елементів, дають можливість застосування нерегулярної сітки для розбивки (з локальним згущенням у місцях найбільшого градієнта внутрішніх зусиль) і мають зручну сервісну частину.

Разом з тим, з розвитком програмних засобів на основі чисельних методів дуже важливо розробляти спрощені, експериментально-теоретичні методи розрахунку будівельних конструкцій. У цьому разі метою є отримання досить простих формул і коефіцієнтів, що відображають специфіку роботи конструкції. Цього можна досягти розв'язанням низки задач із почергово мінливими головними факторами, порівнянням і уточненням, за необхідності, отриманих даних з експериментальними результатами, з подальшою апроксимацією результатів розв'язань простими, зручними для обігу формулами. Зрештою, згадані формули і коефіцієнти мають забезпечувати адекватний перехід від

просторової системи до площинної, тобто без втрати при цьому переваг і особливостей просторової роботи запропонованих панельних конструкцій.

Спрощений інженерний метод розрахунку має давати змогу в порівняно простій формі отримувати й аналізувати результати. Необхідність у ньому зумовлена і специфікою, наприклад, варіантного проектування.

3.2 Аналіз ефективності перерізу перекриття в програмі SCAD Office з урахуванням НДС із бетону з мікрокремнеземом C20/25, C35/40

Проведено чисельне дослідження НДС плит перекриття, товщина яких прийнята згідно з рекомендаціями, виконано зіставлення основних параметрів. Для первинного експерименту випробування моделей призначено вихідні дані за таблицею 3.1

Тип навантаження - короткочасне; вид навантаження - повне навантаження на перекриття громадських будівель; коефіцієнт - 1,3; навантаження від 0,15 до 1,0 т/кв. м., з інтервалом 0,5.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані випробуваних моделей

Найменування		Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
Перетин		160	160	140	120
Бетон		C20/25	C20/25	C35/40	C35/40
Арматура верхнього перерізу	Поздовжня	Ø12A400	Ø12A400	Ø10A400	Ø10A400
	Поперечна	Ø8A240	Ø8A240	Ø10A400	Ø10A400
Арматура нижнього перерізу	Поздовжня	Ø14A400	Ø14A400	Ø10A400	Ø10A400
	Поперечна	Ø8A240	Ø8A240	Ø10A400	Ø10A400

Модель 1 відрізняється від моделі 2 витратою цементу: у моделі 1 на 1 куб. бетону класу C20/25 витрата цементу 360 кг (типова), у моделі 2 витрата цементу на 1 куб. бетону класу C20/25 200 кг (+10% мікрокремнезему), модель 3 витрата цементу 231 кг (+10% мікрокремнезему) на 1 куб. бетону класу C35/40, модель 4 витрати матеріалів за моделлю 3 (розділ 2).

Розрахункова арматура в моделі 3 і 4 згідно з програмою SCAD office $\emptyset 7$ А400 згідно з [16] у перекриттях не рекомендується використовувати арматуру діаметром менше 10 мм. Також перекриття армують сітками або окремими стрижнями відповідно до необхідної площі арматури.

Таблиця 3.2 - Модель 1. Залежність прогинів плити С20/25

т/м ²	H=160
0.20	12.77
0.30	15.08
0.40	17.33
0.50	20.01
0.60	22.04
0.70	24.41
0.80	26.70
0.90	29.08
1.0	31.44

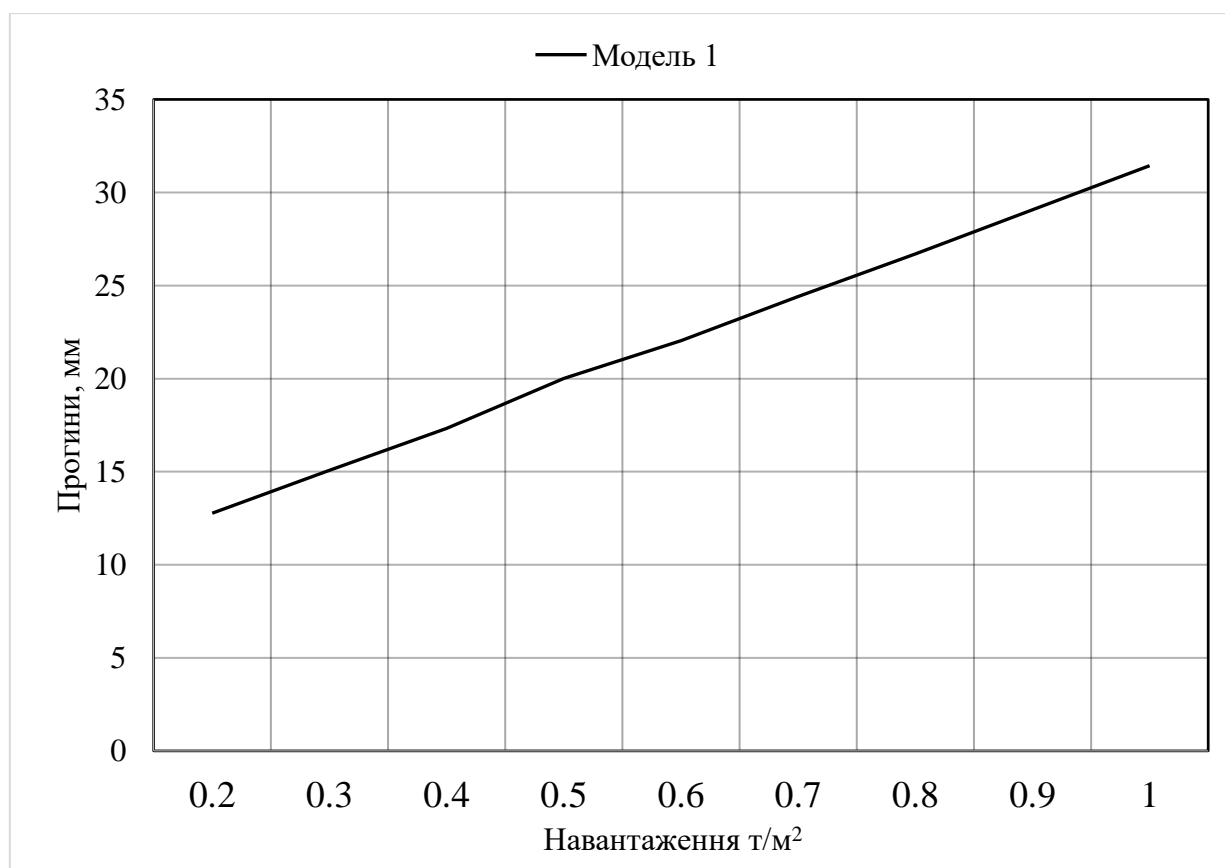


Рисунок 3.1 - Залежність прогинів плити С20/25

Таблиця 3.3 - Модель 2. Залежність прогинів плити С20/25

т/м ²	H=160
0,20	12,88
0,30	16,01
0,40	17,40
0,50	19,84
0,60	22,04
0,70	24,42
0,80	26,76
0,90	29,18
1,0	31,54

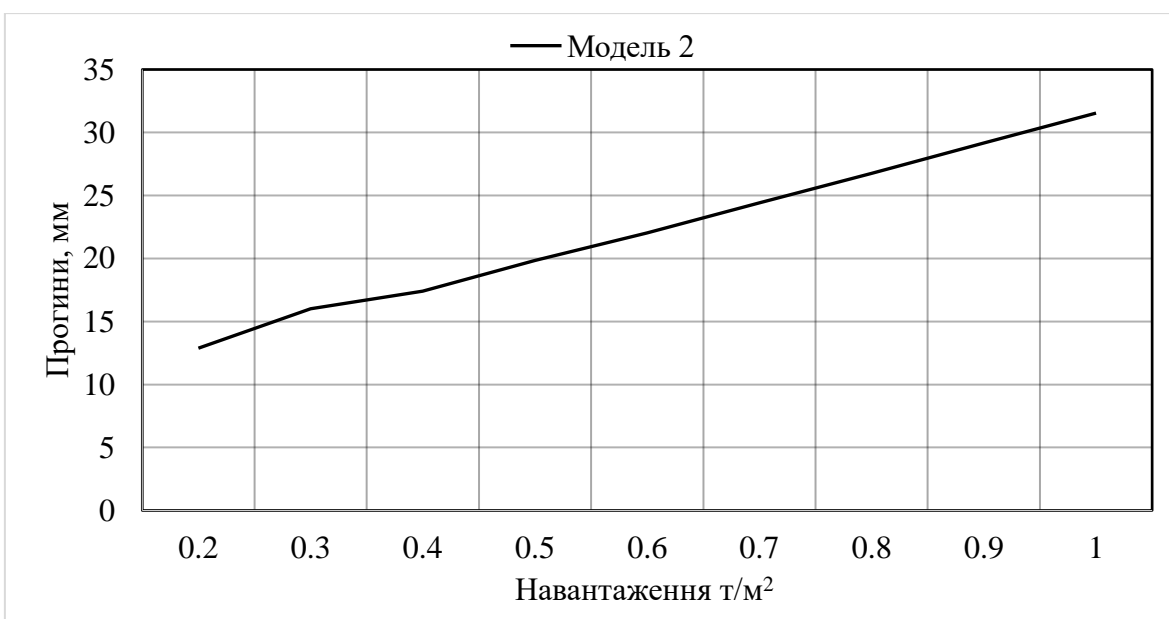


Рисунок 3.2 - Залежність прогинів плити С20/25

Таблиця 3.4 - Модель 3. Залежність прогинів плити С35/40

т/м ²	H=140
0,20	9,58
0,30	10,50
0,40	11,48
0,50	12,57
0,60	13,28
0,70	14,39
0,80	16,01
0,90	16,38
1,0	17,35

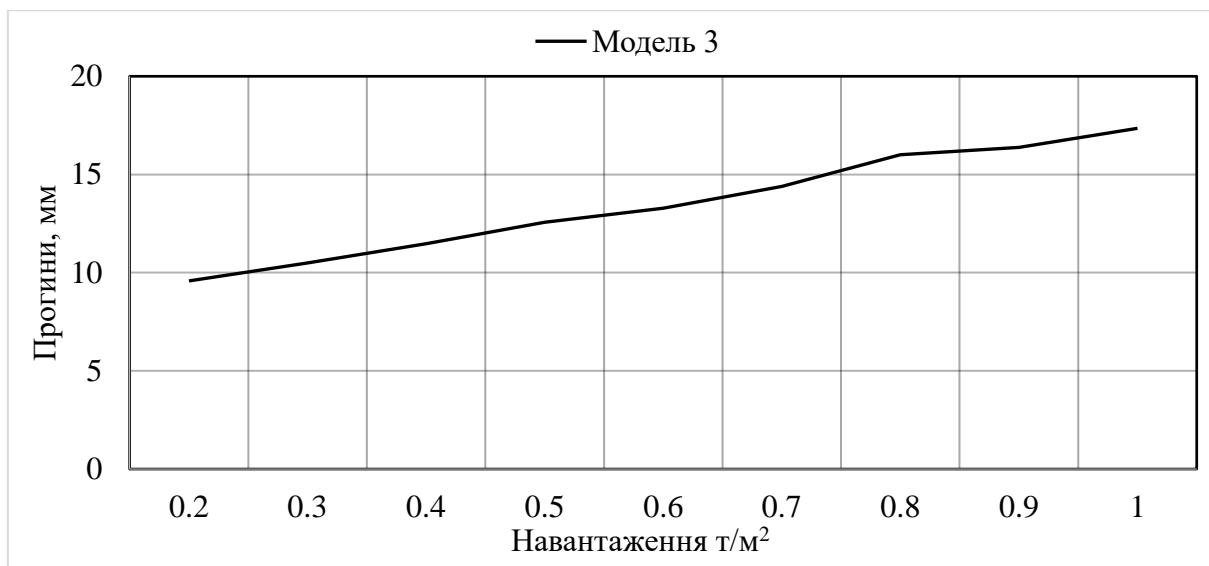


Рисунок 3.3 - Залежність прогинів плити С35/40

Таблиця 3.4 - Модель 4.Залежність прогинів плити С35/40

т/м ²	H=120
0,20	19,00
0,30	20,15
0,40	21,43
0,50	22,48
0,60	23,62
0,70	24,64
0,80	25,41
0,90	26,60
1,0	27.48

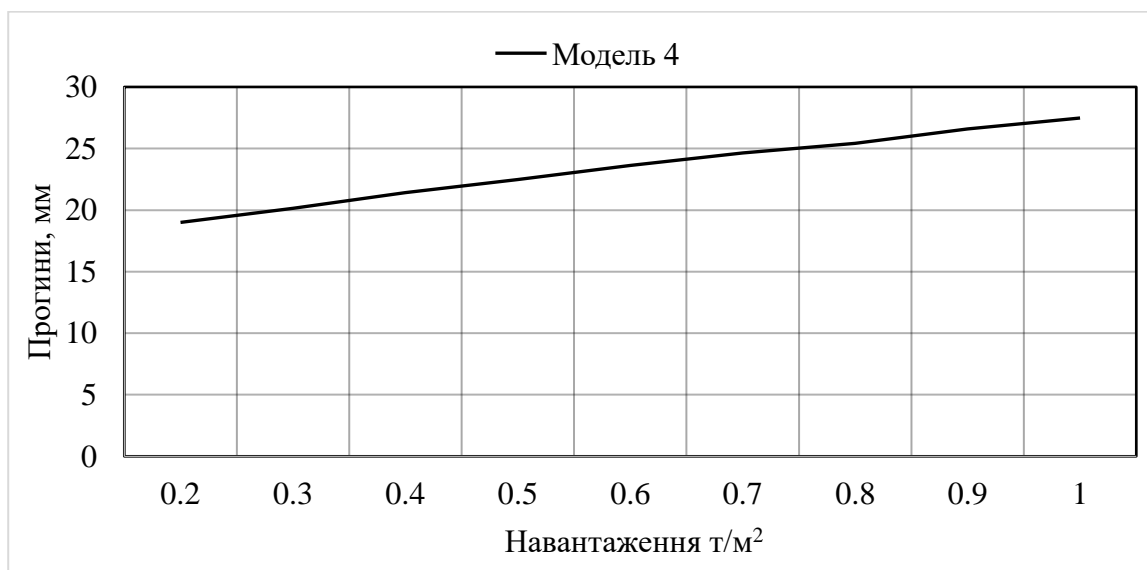


Рисунок 3.5 - Залежність прогинів плити С35/40

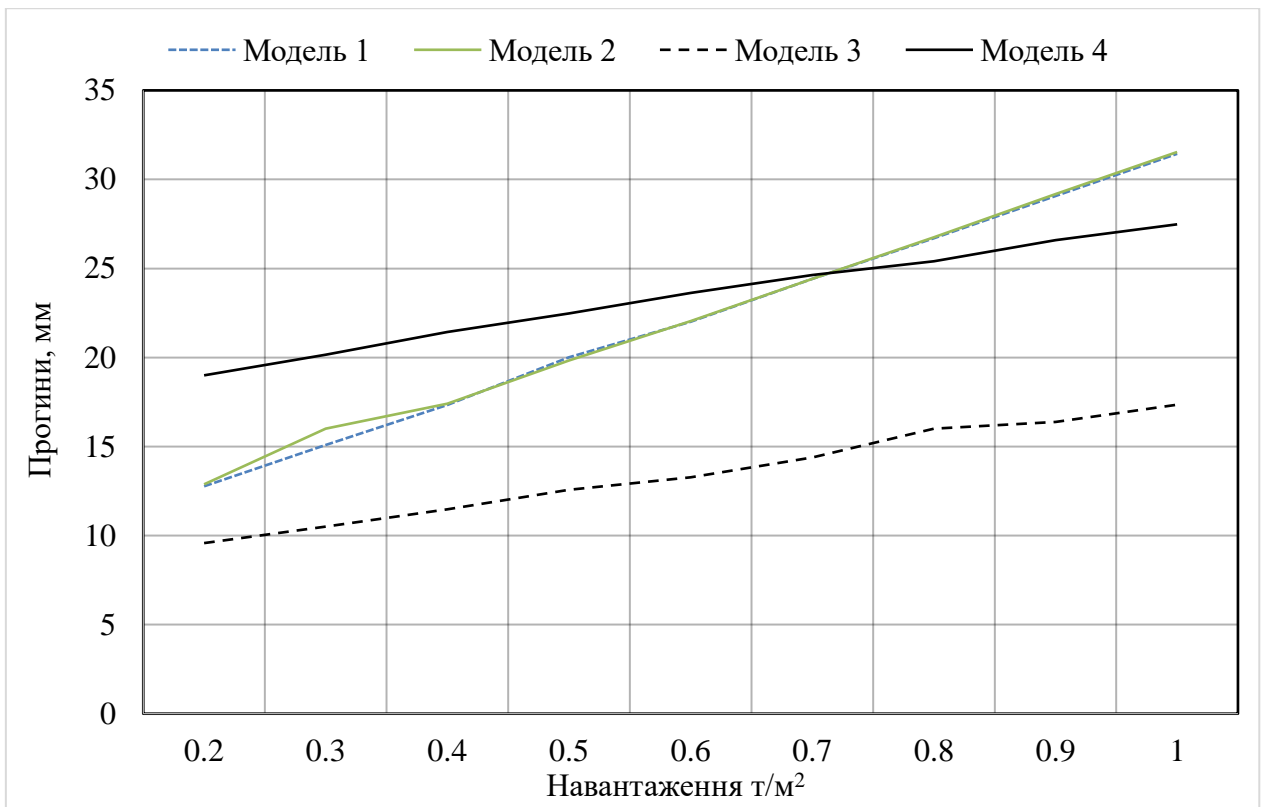


Рисунок 3.6 - Графіки прогинів плит

3.3 Висновки по розділу 3

Згідно з розрахунками програми SCAD встановлено, що середнє значення прогину у плити перекриття моделі 1 і 2, мінімальний прогин у плити перекриття моделі 3, максимальний прогин у плити перекриття моделі 4, але менше за допустимий відповідно до формули $2h/500$, де h - висота багатоповерхової будівлі.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ

На підставі звіту науково-виробничої практики проведено дослідження ефективності внесення мікрокремнезему в бетонну суміш. У процесі роботи порівнювали зразки бетонних сумішей різних класів С20/25 контрольний з С20/25 (+10% мікрокремнезему) і з С35/40 (+10% мікрокремнезему). На першому етапі заводської собівартості проводилося визначення вартості вихідних матеріалів за розробленою калькуляцією приготування бетонних сумішей 1м³ – С20/25, С35/40. Розрахунок проводився за матеріалами виготовлення бетонної суміші 1м³. Дані вартості матеріалів 1м³ бетонних сумішей (таблиця 4.1) розраховані за таблицею 4.2.

Таблиця 4.1 - Склади бетонних сумішей і вартість

Найменування матеріалів	Од. змін.	Класи бетону						
		C30/35	C25/30	C20/25	C15/20	C15/20	C10/15	C45/50
Цемент	кг/м ³	500	450	390	330	310	305	-
		275	250	230	200	180	165	355
Мікрокремнезем	кг/м ³	-	-	-	-	-	-	-
		55	50	45	40	35	30	70
Пісок	кг/м ³	640	750	820	870	890	770	-
		885	915	940	905	880	860	805
Щебінь фр.5-20мм	кг/м ³	1140	1110	1060	1070	1100	1195	-
		1065	1060	1065	1125	1135	1140	1110
Вода	кг/м ³	185	180	180	180	180	200	-
		190	205	200	190	200	205	160
Добавка СП-1:	% від ваги цементу	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	-
		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
Щільність бетонної суміші	кг/м ³	2,47	2,49	2,45	2,45	2,48	2,47	-
		2,47	2,48	2,48	2,46	2,43	2,40	2,50
УК одразу/ 10 хв.	см	10÷15	10÷15	5÷9	5÷9	5÷9	5÷9	-
В/Ц		10÷15	10÷15	5÷9	5÷9	5÷9	5÷9	10÷15
		0,37	0,40	0,47	0,55	0,58	0,66	-
Вагова частка піску		0,58	0,68	0,73	0,79	0,93	1,05	0,38
		0,36	0,40	0,44	0,45	0,45	0,39	-
R5 ТВО	МПа	0,45	0,46	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42
		41,9	30,5	34,7	28,6	23,2	21,4	55,9
R28 ТВО	МПа	48,9	30,3	35,0	28,9	26,8	24,1	60,1
Вартість контрольного класу	з ПДВ, грн.	3637,23	3397,02	3069,97	2750,68	2654,51	2473,84	-
Вартість із мікрокремнеземом, грн		3248,62	3044,25	2871,83	2619,36	2420,97	2451,15	2561,55

Для експериментів чисельних методів обрано склади С20/25 типовий, С20/25 з витратою цементу 200 кг/м³, С35/40 з витратою цементу 231 кг/м³

Таблиця 4.2 - Вартість 1 м³ бетону за матеріалами

Найменування матеріалів	Од. вим.	Класи бетону		
		С20/25	С20/25 МКЗ	С35/40 МКЗ
Цемент	кг/м ³	360	200	231
Мікрокремнезем	кг/м ³	-	40	40
Пісок	кг/м ³	840	897	776
Щебінь фр.5-20мм	кг/м ³	1060	1060	1194
Вода	кг/м ³	180	200	188
Добавка СП-1:	% від ваги цементу	1,08	1,5	1,3
Щільність бетонної суміші	кг/м ³	2,454	2,420	2,455
УК одразу/ 10 хв.	см	5÷9	6,5÷9	8÷9
В/Ц		0,63	0,76	0,64
Вагова частка піску		0,44	0,46	0,39
R5 ТВО	МПа	34,7	34,8	44,2
R28 ТВО	МПа	35,0	36,0	55,9
Вартість контрольного класу	з ПДВ, грн. (20%)	3 045,97	2 780,90	2 868,50

Аналіз даних таблиць 4.1, 4.2 дав змогу скласти діаграми (рис. 4.1- 4.3.).

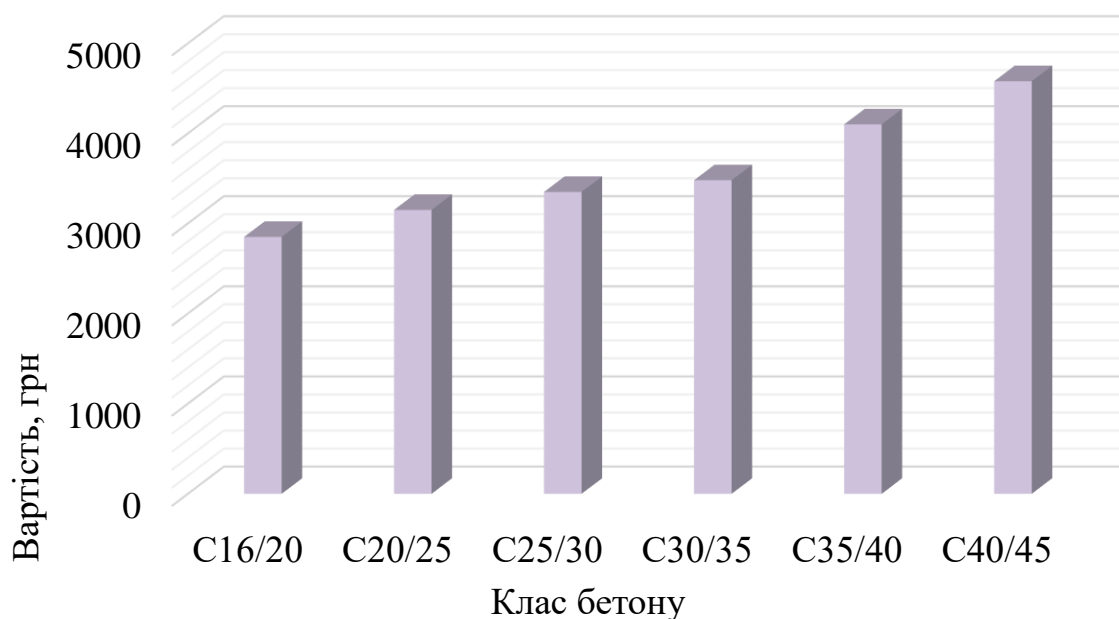


Рисунок 4.1 - Залежність вартості 1м³ бетону від класу

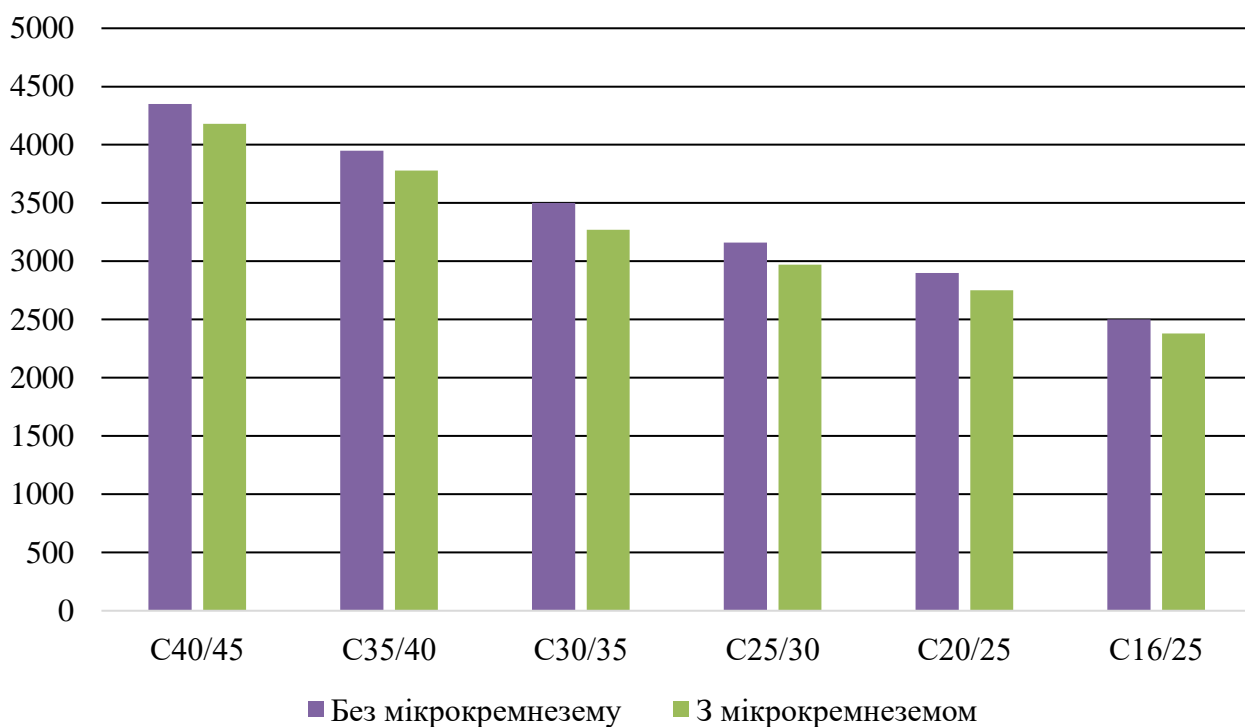


Рисунок 4.2 – Порівняльна характеристика вартості 1м³ бетону без кремнезему і
НИМ

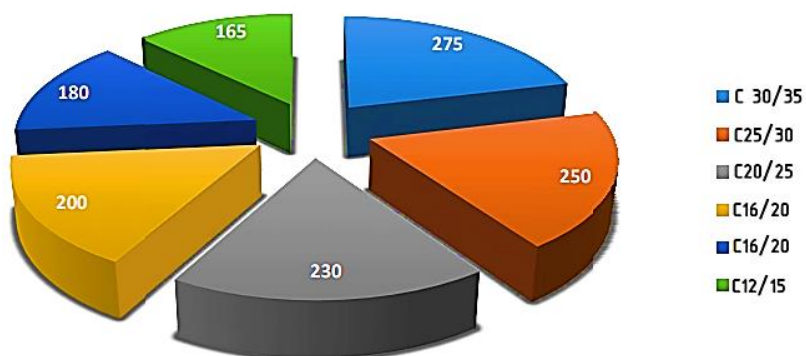


Рисунок 4.3 - Витрата цементу залежно від класу бетону

Для кожного заводу різна номенклатура залізобетонної продукції, що випускається, також бетон з МКЗ рекомендується застосовувати під час монолітного домобудівництва.

Отже, всі перераховані економічні показники бетону для кожного заводу і

монолітного домобудівництва будуть свої.

Міцність безпропарочних бетонів при монолітному житловому будівництві отримуємо з відпускнуою міцністю С 25/30 протягом 24 годин, оборот опалубки, отже, зростає. Час формування монолітного домобудівництва загалом на будівлю зменшується. У підсумку від застосування мікрокремнезему спостерігається ефективність на будівлю в цілому. Бетон С45/50, на цементах М500 і витратних контрольних даних витрати цементу 266-350 на 1м³, загалом, без МКЗ неможливо отримати високі класи бетону (таблиця 11, рисунки 18, 10, 20).

Добавка МКЗ водонепроникність сприятливо впливає на морозостійкість і бетонів: за незмінної витрати цементу добавка МКЗ у кількості 20-30% від маси цементу може слугувати засобом підвищення як морозостійкості, так і водонепроникності.

Введення МКЗ у бетонну суміш на цементах середньої активності дасть змогу:

- отримати високоміцні бетони, або бетони з економією цементу до 50%.

Використання МКЗ в технологію бетону дає змогу поліпшити екологічну обстановку, при цьому отримати значний ефект у будіндустрії. У зв'язку з цим, ефект від застосування МКЗ визначається як сума двох чинників: економії коштів завдяки скороченню витрат матеріальних і енергетичних ресурсів під час виробництва різних залізобетонних конструкцій та економії на природоохоронні заходи феросплавних заводів.

4.1 Висновки за розділом 4

Введення мікрокремнезему в бетонну суміш на цементах середньої активності дасть змогу:

1. Отримати високоміцні бетони (або економію цементу до 50%);
2. Отримати безпропарочні бетони з відпускнуою міцністю С25/30 протягом 24 годин;

3. Скоротити тривалість тепловологісної обробки на 3-4 години;
4. Підвищення морозостійкості F і водонепроникності W бетонів;
5. Підвищити сульфатостійкість бетонів, що виготовляються на звичайному портландцементі;
6. Поліпшити зв'язність литих бетонних сумішей; збереження арматурної сталі в бетоні забезпечується при дозуванні МКЗ не більше 20% від маси цементу (>20% вводять інгібітори корозії сталі - нітрат натрію);
7. Поліпшити екологічну обстановку, при цьому отримати значний ефект у будіндустрії.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві

З метою забезпечення сприятливих для здоров'я умов праці, високого рівня працездатності, профілактики травматизму і професійних захворювань, отруєнь та відвернення іншої можливої шкоди для здоров'я на підприємствах, в установах і організаціях різних форм власності повинні встановлюватися єдині санітарно-гігієнічні вимоги до організації виробничих процесів, пов'язаних з діяльністю людей, а також до якості машин, обладнання, будівель та інших об'єктів, які можуть мати шкідливий вплив на здоров'я. Всі державні стандарти, технічні умови і промислові зразки обов'язково погоджуються з органами охорони здоров'я в порядку, встановленому законодавством. Власники і керівники підприємств, установ та організацій зобов'язані забезпечити в їхній діяльності виконання правил техніки безпеки, виробничої санітарії та інших вимог щодо охорони здоров'я, передбачених законодавством, не допускати шкідливого впливу на здоров'я людей (ст. 28 Основ законодавства України про охорону здоров'я).

Власник зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі й на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечити дотримання прав працівників, гарантованих чинним законодавством.

З цією метою власник забезпечує функціонування системи управління охороною здоров'я, для чого створює на підприємстві підрозділи, які традиційно іменуються службою охорони праці. Типове положення про службу охорони праці затверджене наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15 листопада 2004 р. № 255. Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працюючих 50 і більше осіб. На підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати у порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання

функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають виробничий стаж роботи не менше трьох років і пройшли навчання з охорони праці. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою.

На службу охорони праці покладено виконання таких завдань. У разі відсутності впровадженої системи якості відповідно до ISO 9001, опрацювання ефективної системи управління охороною праці на підприємстві та сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожного працівника; забезпечення фахової підтримки рішень роботодавця з цих питань; організація проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням та іншим випадкам загрози життю або здоров'ю працівників; вивчення та сприяння впровадженню у виробництво досягнень науки і техніки, прогресивних і безпечних технологій, сучасних засобів колективного та індивідуального захисту працівників; контроль за дотриманням працівниками вимог законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці, положень (у разі наявності) галузевої угоди, розділу "Охорона праці", колективного договору та актів з охорони праці, що діють у межах підприємства; інформування та надання роз'яснень працівникам підприємства з питань охорони праці.

5.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу будівельних конструкцій

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги дійсного документа, ДБН "Техніка безпеки в будівництві", ДНАОП 0.00-1.03-93 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, а також

інших державних і відомчих нормативних актів і документів з урахуванням змін, які публікуються у журналі "Охорона праці"

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- машини і механізми, що рухаються і працюють, включаючи вантажопідіймальні;

- переміщення при підйомі і установці в проектне положення конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;

- втрату стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних майданчиків;

- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;

- недостатню освітленість робочої зони;

- дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;

- фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;

- підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;

- небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;

- вплив підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань при виконанні електрозварювальних робіт, а також іонізуючих випромінювань при контролі якості зварених швів;

- токсичний і дратівний вплив на дихальні шляхи газів і аерозолів, що утворюються при зварювальних роботах;

- токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;

- використання порохового монтажного інструмента.

- Попередження чи зниження впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, повинно забезпечуватися при:

– пересуванні і роботі машин, механізмів і літальних апаратів - шляхом позначення знаками безпеки небезпечних зон, інженерної підготовки шляхів їх переміщення, а також дотримання правил безпечної їх експлуатації;

– переміщенні конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також при втраті стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних конструкцій - шляхом дотримання технології виконання робіт, а також прийняття в необхідних випадках інженерно-технічних рішень, що забезпечують несучу здатність цих конструктивних елементів;

– розташуванні робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень, використання прогресивних засобів підмащування: автомобільних гідравлічних підйомників (АГП), телескопічних підйомників, колісок, навішених на гак вантажопідіймальних кранів, і т.д., а також застосуванням страхувальних пристроїв і пристосувань;

– недостатній освітленості робочої зони - забезпеченням освітленості площадок складування, будмайданчиків, монтажних площадок і робочих місць за спеціально розробленим проектом;

– дії вітру на вантажопідіймальні механізми, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції (ферми, колони і ін.), частини будинків і споруд - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень на підставі перевірочних розрахунків на вітрові навантаження: для вантажів, що піднімаються кранами. Навантаження "вітрове" і для окремо змонтованих конструкцій, частин будинків і споруд відповідно до розділу 6 ДБН "Навантаження і впливи", з урахуванням вітрової пульсаційної складової;

– фізичних перевантаженнях - шляхом максимальної механізації ручної праці і дотримання допустимих норм навантажень при підйомі і переміщенні одиночних вантажів вручну, які не повинні перевищувати для жінок 10 кг при сумісництві з іншою роботою і 7 кг постійно на протязі робочої зміни; для чоловіків - максимум 50 кг;

– підвищеній чи зниженій температурі повітря робочої зони -

використанням спецодягу, а також дотриманням тривалості робочого дня і перерв у роботі відповідно до діючих нормативних документів;

- дії електричного струму (у всіх його проявах) на організм людини - дотриманням вимог ПУЕ, ПТЕ і ПТБ;

- впливі підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань, а також газів і аерозолів, що утворюються при виконанні зварювальних роботах і роботах, що їх супроводжують,

- дотриманням нормативних актів і документів, що діють в країні.

5.1.3 Висновки до підрозділу 5.1

Дотримання вимог, перелічених у даному розділі, забезпечить безпечні умови праці, позбавить травматизму, профзахворювань та виникнення небезпечних факторів, аварій. Покращаться умови праці та виробниче середовище. У разі порушення норм і правил охорони праці, невиконання колективного договору, наказів роботодавця або розпоряджень органів нагляду за станом охорони праці, внаслідок чого трапилися нещасні випадки, виникли професійні захворювання або інші важкі наслідки настає кримінальна відповідальність.

При виконанні будівельних робіт порушення нормативних і правових актів, а також правил експлуатації будівельних механізмів, якщо це завдало шкоди здоров'ю людей або могло спричинити людські жертви та інші тяжкі наслідки карається позбавленням волі на строк до одного року або виправними роботами на той самий термін, або грошовим стягненням до 20 мінімальних неоподаткованих розмірів заробітної плати.

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1 Заходи при землетрусі

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування

будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Неприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

5.2.2 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта

Одне з основних завдань в області цивільного захисту ЦЗ - проведення заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу. Під стійкістю функціонування будівельного об'єкта розуміють здатність його в надзвичайних ситуацій виконувати покладену на нього функцію, а при отриманні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків з постачання, відновлювати виконання

покладеної функції в мінімальні терміни.

Розглянутий об'єкт будівництва є нестійким до дії ударних хвиль, тому що розглянуті мною безкаркасні арочні ангари мають невелику товщину стінки і власну вагу, що не забезпечує належної стійкості будівлі, отже, необхідно розробляти низку заходів щодо підвищення його стійкості.

Для цього необхідно зробити наступне:

1. Підвищити стійкість промислової споруди шляхом встановлення більш міцного металевого каркасу, встановлення більш міцних рам для дверей і вікон, зменшення прольоту несучих конструкцій, а також зміцнення стін будівлі більш міцними матеріалами.

2. Для підвищення стійкості кранів та кранового обладнання до впливу ударної хвилі доцільно забезпечити їх жорстку фіксацію на міцному фундаменті, розташовувати устаткування за міцними елементами будівлі і споруд на ймовірному напрямку дії ударної хвилі, забезпечити додаткові точки фіксації і кріплення. Також необхідно встановлювати контрфорси, що підвищують стійкість обладнання до дії швидкісного напорю ударної хвилі.

3. Для підвищення стійкості кабельних наземних ліній слід помістити їх під землю, також можливе їх зміцнення за рахунок укладання їх всередину, а також за рахунок застосування броньованих кабелів.

5.2.3 Системи сейсмозахисту будівель і споруд

Загальна класифікація систем сейсмозахисту споруд представлена на рис. 5.1. Вона складається з традиційних методів забезпечення сейсмостійкості та спеціальних засобів сейсмозахисту.

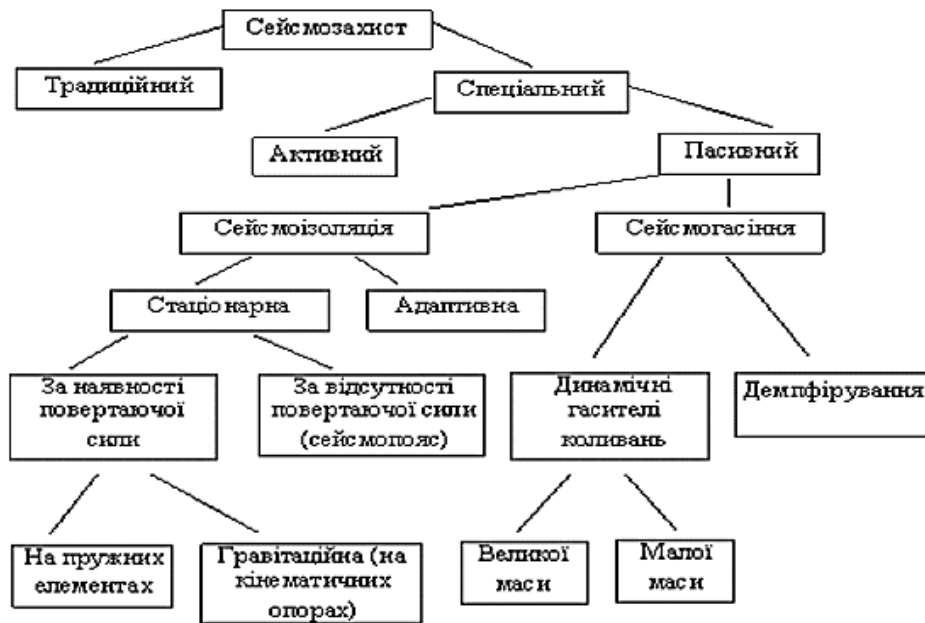


Рисунок 5.1 - Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд

5.2.4 Висновки до підрозділу 5.2

У цьому розділі було розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях з фокусом на землетрусі. Оскільки, землетруси є однією з найбільш небезпечних природних катастроф, які можуть призвести до значних матеріальних збитків та загибелі людей. Однак, певні заходи можуть бути прийняті, щоб зменшити ризик втрати життя та матеріальних збитків.

Було розглянуто заходи, які можуть бути прийняті в разі землетрусу. Вони включають в себе пошук безпечного місця, прикриття голови та шиї твердим предметом, уникнення ліфтів та швидкого виходу з будівлі.

Було також розглянуто заходи підвищення стійкості будівлі при землетрусі. Вони включають в себе правильне планування будівель, використання стійких матеріалів, які можуть поглинати енергію землетрусу, та використання підсилюючих конструкцій для підвищення стійкості будівлі.

Нарешті, було розглянуто системи сейсмосахисту будівель, які можуть допомогти зменшити ризик матеріальних збитків та загибелі людей. Ці системи включають в себе ізолятори, амортизатори та інші системи, які можуть допомогти зменшити вібрації та поглинати енергію землетрусу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Існуючі норми проектування залізобетонних конструкцій не враховують сукупності всіх чинників, що впливають на несучу здатність, жорсткість і тріщиностійкість конструкцій, що часто призводить до невиправданого завищення розмірів перерізів і значної (на 20-35 %) перевитрати бетону й арматури.

Виявлено шляхи щодо ефективного зниження матеріаломісткості елементів залізобетонного каркаса на основі застосування бетонів і підвищених класів міцності.

Розв'язано задачу про оптимальну товщину плити перекриття у складі каркаса за критерієм зниження матеріаломісткості та вартості.

Проведено багатофакторні чисельні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних плит перекриття у складі конструкції каркаса будівлі з варіюванням прольотів, товщини, навантажень, класів бетону та арматури, що дало змогу істотно уточнити розрахункові параметри, які визначають їхню несучу здатність.

Встановлено раціональні області та виявлено критерії оцінки можливостей для оптимального проектування та реалізації конструктивних рішень залізобетонного каркаса в частині зниження його матеріаломісткості за умови заміни традиційної типової категорії класу бетону C20/25 на категорію бетону C35/40 з мікрокремнеземом.

Виконано чисельні методи дослідження несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності фрагментів залізобетонних плит перекриття каркаса з метою перевірки перерізу, покладених в основу розрахункових моделей. Уу76

На основі проведених досліджень з використанням економіко-математичних методів розроблено рекомендації щодо застосування бетону В40 з мікрокремнеземом у плитах перекриття.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. Гнідець Б. Г. Збірно-монолітні залізобетонні конструкції. Проектування, дослідження і провадження в будівництво. / Б. Г. Гнідець. – Львів: Львівська політехніка, 2008.с.
3. Залізобетонні конструкції: Підручник / За ред. П.Ф. Вахненка. – К.: Вища школа, 1999. – 508 с.
4. Вахненко П.Ф. Кам’яні і армокам’яні конструкції. – Київ.:ІСДО, 1993.- 260 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: Норми проектування. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
6. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
7. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010.– 166 с.
8. Held M., Konig G. Ductility of Large High-Strength Concrete Columns in High Rise Buildings // High Strength Concrete, Lillehammer, Norway-1993. P. 200-208.
9. Mehdi Sadeghi e Nabashi. Ultra high performance and high early strength concrete [Текст] // "36th Conference on Our World in Concrete & Structures". - Singapore, 2011.
10. Metin Husem, Selim Pul. Investigation of stress-strain models for confined high strength concrete [Текст] // "Sadhana" Vol. 32, Part 3, June 2007, pp. 243-252. - India.
11. Hellmann H.G. Beziehungen zwischen Zug-und Druckfestigkeit des Betons //

«Beton», 19, Jg., H. 2, 1962.

12. Chuang P.H., Kong F.K. Large-Scale Tests on Slender, Reinforced Concrete Columns. - *The Structural Engineer*. Vol.75, №23-24, 1997. P. 410-416.

13. Claeson C. Structural behavior of reinforced high-strength Concrete Columns. Goteborg, 1998. — 221 s.

14. El-mahadi, A. Rheological Properties, Loss of Workability and Strength Development of High-Strength Concrete [Текст] / El-mahadi Ahmed- London: MSc. University of London, 2002.

15. Leaderman H. Elastic and creep properties of filamentous and other high polymers. Textile Foundation. Washington, 1943.

16. Ngo D., Scordelis A.C. Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams. - *ACJ Journal*. Vol.64, №3, 1967. P. 152-163.

17. Rasch Chr. Spannungs-Dehnungs-Linien des Betons und Spannungsverteilten in der Biegerdruckzone bei konstanter Dehnungsgeschwindigkeit. - *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*. Heft 154. 1962.

18. Rusch H., Sell R., Rasch Chr. Festigkeit und Verformung von unbewehrten Beton unter konstanter Dauerlast. - *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton*. Heft 198, 1968.

19. Halasz I. Deformations in concrete // *Proceedings of the Technical University of Building and Transport Engineering*, vol. XII, № 6 - Budapest, 1967.

20. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Experimental study of the structural properties of high-strength concrete // 5th International Scientific Conference "European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches": Papers of the 5th International Scientific Conference. August 26-27, 2013, Stuttgart, Germany. 2013. P.81-87.

21. Alford, N.M. A Theoretical Argument for the Existence of High Strength Cement Pastes / N.M. Alford // *Cem. and Concr. Res.* 1981. - V. 11. - №4. - P. 605-610.

22. Bromham, S.B. Superplasticizing admixtures in high strength concrete / S.B. Bromham // *Symp. Concr. Eng.; Eng. Concr.*, Brisbane, 2017. - Barton. -P. 17-22.

23. Grimm, R. Hochfester Beton - Schubtragverhalten von Bauteilen ohne und mit Schubbewehrung, Abschlussbericht für den Deutschen Beton Verein / R. Grimm // e. V. und die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), 2004.

24. Hewlett, P. Superplasticized concrete / P: Hewlett, R. Rixom // American Concrete Institute Journal. 2007. - Vol. 74. - № 5. - P. 6-11.

25. Horovitz, I. Effect of plasticizing admixtures upon the rheological properties and the hardening of concrete / Horovitz L, Kalmar Z., Tamas F. // Silicat. Ind. 2009. - Vol. 44. - № 4-5. - P. 107-108.

26. ГУДЬ, Михайло Іванович; КРАМАР, Галина Михайлівна; ГУДЬ, Іван. Фактори впливу на міцність та ефективність бетону. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам’яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), 2018, 44-45.

27. Kishitani, K. Engineering properties of superplasticized concretes / K. Kishitani, H. Kasami, M. Lizuka, T. Ikeda // Amer. Concr. Inst. 2011. - P. 233-252.

28. König, G. Zur Rissbreitenbeschränkung im Stahlbetonbau / G. König, E. Fehling // Beton und Stahlbetonbau. 2008. - Heft 6. - p. 161-167

29. Malhotra, V.M. Superplasticizers: their effect on- fresh and hardened concrete / V.M. Malhotra // CANMET Rept. Canada. 2009. - P. 23.

30. Marzouk, H. Experimental Investigation on the Behavior of High- Strength Concrete Slabs / H. Marzouk // ACI Structural Journal. - V. 88. - No. 6 Nov. Dec. 2011. - p. 701-713.

31. Aoyawa H., Noguchi H. Mechanical properties of concrete under load cycles idealizing seismic actions // Comité Euro-International du béton. Bulletin d'information 131, Rome, 2009.

32. Гудь Михайло І, Мещерякова О, Качор А, Гудь В. DESIGN AND CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. MEIT [Internet]. 2023 Dec. 30 [cited 2024 May 10]; 1(30-01):98-104. Available from: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit30-00-044>

33. Гудь, Михайло Іванович, and М. Лановик. "Вплив хаотично розміщених

сталевих волокон на властивості залізобетону." Праці конференції Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Яснія Петра Володимировича „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“ (2022): 151-152.

34. ДСТУ Б В.2.7-16-95 Будівельні матеріали. Матеріали стінові кам'яні. Номенклатура показників якості

35. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2001, NEQ)

36. ДСТУ Б В.2.7-183:2009 Будівельні матеріали. Матеріали та вироби будівельні звукопоглинальні і звукоізоляційні. Класифікація й загальні технічні вимоги

37. ДСТУ Б В.2.7-195:2009 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби теплоізоляційні. Номенклатура показників

38. ДСТУ Б В.2.7-205:2009 Будівельні матеріали. Золи-виносу теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови

39. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками

40. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу

41. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона

42. ДСТУ Б В.2.7-224:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності

43. ДСТУ Б Г.1-10:2008 Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Бетони. Номенклатура показників

44. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво в сейсмічних районах України

45. Конончук, О. П., Лещук, М. Р., Винницький, М. В., Лещишена, О. В., Бариш, С. В., & Антоняк, Я. В. (2023). Вивчення напружено-деформованого стану залізобетонних елементів таврового профілю. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі

сучасних технологій “, 20-20.

46. Леник, В. Б., & Конончук, О. П. (2020). Дослідження впливу на міцність бетону прискорювачів твердіння. Матеріали міжнародної наукової конференції „Іван Пулюй: життя в ім’я науки та України “(до 175-ліття від дня народження), 79-80.

47. БОНДАР, В. О.; КОНОНЧУК, Олександр Петрович. Дослідження впливу на міцність бетону пластифікаторів, що сповільнюють тужавіння. Матеріали міжнародної наукової конференції „Іван Пулюй: життя в ім’я науки та України “(до 175-ліття від дня народження), 2020, 52-53.

48. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

49. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.