

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ

Київський Державний технічний університет будівництва  
та архітектури

на правах рукопису

ДВОРКІН Олег Леонідович



БЕТОНИ З КОМПОЗИЦІЙНИМ ЗОЛОМІКРО-  
КРЕМНЕЗЕМИСТИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

НИЇВ-1995



00761496 (X)

Робота виконана в Київському технічному університеті  
будівництва та архітектури

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор  
ПАШКОВ Ігор Олександрович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Вировой В.М.;  
кандидат технічних наук, доцент  
Дорошенко Ю.М.

Провідна організація – Акціонерне товариство  
"Рівнезвладобетон"

Захист дисертації відбудеться 01.12.11. 1995 р.  
на засіданні спеціалізованої ради К 01.18.08. Київського  
технічного університету будівництва та архітектури за адресою:  
м.Київ, Повітрянофлотський просп. 31. ауд 486

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці КДТУБА

Автореферат розіслано 20.10 1995 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради

В.О.Рыкша

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**А к т у а л ь н і с т ь.** Актуальною проблемою будівництва на Україні є розширення масштабів застосування дешевих, низькоенергоємних матеріалів і технологій з широким застосуванням техногенної сировини. До групи ефективних будівельних матеріалів належать бетони із зниженою витратою портландцементу – одного з найбільш енергоємних в'язучих речовин.

Із сукупності сучасних способів зниження витрат цементу у бетонах за досягаємим ефектом та доступністю можна виділити введення в бетонні суміші мінеральних наповнювачів. Застосування суперпластифікаторів дозволило поряд з таким традиційним мінеральним наповнювачем як зола-унос ТЕС з успіхом використовувати ультрадисперсні кремнеземисті речовини /мікрокремнеземи/ – відходи деяких металургійних виробництв та реалізувати їх комплексний позитивний вплив на структурування бетону.

Підвищення ефективності мінеральних наповнювачів бетонів може досягатися різними способами їх активізації та введенням у бетонні суміші суперпластифікаторів. Одним із найменш досліджених способів отримання наповнювачів підвищеної активності є використання оптимально підібраних компонентів – золи-уноса та ультрадисперсних кремнеземистих речовин-мікрокремнеземів /МК/.

**М е т а і з а д а ч і.** Метою дослідження є розробка оптимальних технологічних параметрів та вивчення властивостей бетонів із золомікрокремнеземистим наповнювачем /ЗМКН/ при витраті цементу не більше  $200 \text{ кг/м}^3$ , тобто малоцементних бетонів.

Реалізація поставленої мети потребувала вирішення наступних задач:

1. Вивчити вплив складу композиції зола-унос – МК на фізико-механічні властивості порошків, які визначають активність ЗМКН у цементних системах.
2. Вивчити особливості реологічних властивостей, процеси гідратації і структурування цементних паст, наповнених ЗМКН, а також вплив ЗМКН на міцність цементного каменю.
3. Вивчити технологічні властивості бетонних сумішей та будівельно-технічні властивості малоцементних бетонів із ЗМКН, а також запропонувати метод проектування їх складів.
4. Розробити технологічні параметри отримання бетонів із ЗМКН та перевірити їх ефективність у виробничих умовах.

**Н а у к о в а н о в и з н а :**

1. Встановлені особливості зміни поверхневої енергії та пуц-ланової активності композицій золи-уноса та МК.

2. Показано, що введення ЗМКН в цементні пасту збільшує ступінь гідратації, міцність коагуляційних контактів і швидкість процесів кристалізації новоутворень.

3. Отримані кількісні оцінки впливу концентраційних факторів, які характеризують структуру і склад цементних паст та бетонних сумішей з ЗМКН на активність цементного каменю, зручновкладальність, водо- і розчиновідділення бетонної суміші, міцність і морозостійкість бетону, деформативні властивості та корозійну стійкість.

4. Досліджені особливості порової структури бетону з ЗМКН і встановлено, що введення його в малоцементні бетони веде до зменшення значень інтегральної та відкритої пористості, показника середнього розміру пор і підвищенню однорідності пор.

**П р а к т и ч н а ц і н н і с т ь т а в п р о в а д ж е н н я**

Встановлено, що застосування композиційного наповнювача — ЗМКН дозволяє суттєво підвищити активність цементів та міцність бетонів з витратою цемента менше  $200 \text{ кг/м}^3$ , а також значно покращити їх деформативні властивості та корозійну стійкість. Дослідним шляхом обґрунтовані оптимальні концентрації МК, ЗМКН і суперпластифікатора в різних складах бетонних сумішей. Доведена можливість досягнення для бетонних сумішей з ЗМКН практично невідчутних значень водо- і розчиновідділення. Розроблено спосіб проектування оптимальних складів бетонних сумішей з ЗМКН в результаті сумісного аналізу математичних моделей зручновкладальності і міцності бетону.

Результати лабораторних досліджень підтверджені дослідно-промисловими випробуваннями на Рівненському заводі КПД, де були виготовлені вироби і конструкції із важких та легких бетонів із ЗМКН, котрі довели можливість зменшення витрати цемента до 40-45%.

**А п р о б а ц і я.** Основні положення роботи обговорені на наукових конференціях та семінарах в Київському технічному університеті будівництва та архітектури, Одеській академії будівництва, Українському інституті інженерів водного господарства.

**П у б л і к а ц і я.** По темі дисертації опубліковано 14 робіт.

**С т р у к т у р а і о б ' є м.** Дисертація складається із вступу, 6 глав, загальних висновків, списку використаної літератури і додатків, викладена на 170 сторінках, включаючи 29 таблиць, 35 рисунків.

## ЗМІСТ РОБОТИ

В технології бетона існує майже столітній досвід застосування дисперсних мінеральних наповнювачів /мікронаповнювачів/, початок якому поклали дослідження Н.А.Белелюбського. Сучасні уявлення про вплив мінеральних наповнювачів на структуроутворення цементних систем засновані на теорії мікробетона В.Н.Дюга, фізико-хімічній механіці та поліструктурній теорії бетона. У відповідності з цими уявленнями, в розвиток яких значний вклад внесли Ю.М.Бутт, В.А.Вознесенський, В.А.Вировий, М.М.Круглицький, Т.Ю.Любимова, Л.О.Малініна, О.П.Мчедлов-Петросян, О.С.Пантелєєв, П.О.Рєбіндер, А.М.Сергєєв, В.І.Соломатов та інші вчені, активні мінеральні наповнювачі надають комплексний хімічний і фізико-хімічний вплив на процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю та бетона. До числа найбільш поширених і порівняно добре вивчених мінеральних наповнювачів цементних бетонів відносяться кам'яно-вугільні золи-уносу ТЕЦ. Великою перевагою зол-уносу є їх низька водопотреба. Пуццоланова активність зол-уносу порівняно невелика /10...50 мг СаО/г/. Пропозиції по підвищенню активності зольного наповнювача шляхом його додаткового подрібнення не отримали поширення із-за високої енергоємності.

Як показано роботами останніх років, виконаними В.Г.Батраковим, Ф.М.Івановим, С.С.Капрієловим, О.П.Мчедловим-Петросяном, А.В.Шейнфельдом, А.В.Ушєровим-Маршаком, а також О.Вернером, В.Мальхотрою, Р.Фельдманом та іншими дослідниками, роль активних наповнювачів можуть виконувати ультрадисперсні порошки, т.з. мікрокремнеземи /МК/, котрі відловлюють при газоочистці у виробництві ферросплавів. На Україні МК утворюються у якості відходів, наприклад, на Стахановському і Запорізькому металургійних заводах.

Вміст МК у бетонах рекомендується в кількості 20...50 кг/м<sup>3</sup>. Більший вміст МК веде до різкого зростання водопотреби бетонних сумішей, необхідності підвищеної кількості суперпластифікаторів, зниженню тріщиностійкості бетонів.

Для малоцементних бетонів, коли необхідна витрата наповнювача близька з витратою цемента, або більша від неї, МК можна розглядати як активуючий компонент композиційних наповнювачів. У якості базового, або основного за масою компонента доцільно застосовувати золу-унос. Суть робочої гіпотези, покладеної в основу цього дослідження, полягає в тому, що композиційні золомікрокремнеземисті наповнювачі /ЗМКН/ повинні мати з однієї сторони підвищену пуццоланову активність і поверхневу енер-

гію, а з другої – помірну водопотребу та поліфракційний зерновий склад, необхідний для довготривалого зростання міцності бетонів.

Досліджуваними компонентами ЗМКН були зола-унос Бурштинської ГРЕС та МК – відход виробництва Стаханівського заводу. На першій стадії дослідження, до вибору оптимального складу ЗМКН, використовували по 3 проби золи і МК, які відрізнялися хімічним і зерновим складом, дисперсністю і вмістом незгорівших вуглецевих частинок. Основні дослідження виконані з використанням середньодисперсної  $S_{\text{пит.}} = 330 \text{ м}^2/\text{кг}$  золи-уносу з активністю  $31,5 \text{ мг CaO/г}$  і нормальною крутістю  $22,5\%$  та МК із вмістом  $\text{SiO}_2 - 91,5\%$ ,  $S_{\text{пит.}} = 2250 \text{ м}^2/\text{кг}$  /вимірною на ПСХ-2/, активністю  $155,4 \text{ мг CaO/г}$ , нормальною крутістю  $65\%$ . Цементні пасти і бетони виготовляли із застосуванням портландцементу М 500 і М 400 Здолбунівського ЦШК. Дрібним заповнювачем у бетонах був середній пісок з  $M_K = 2,09$ , крупним – гранітний щебінь фракції  $5...20 \text{ мм}$ .

Весь комплекс проведених експериментальних досліджень можна розділити на 4 цикли: дослідження порошкоподібних наповнювачів, наповнених цементних паст, бетонних сумішей і бетонів.

Структуроутворююча роль мінеральних наповнювачів в цементних системах зв'язана із величиною поверхневої енергії, яка проявляється по силі зчеплення або аутогезії частинок і теплоті їх змочування. Як показали експерименти, величина аутогезії, виміряна методом відриву диска, зменшується в ряду МК – портландцемент – зола-унос. Правило аддитивності аутогезії сумішей справджується для сумішей порошків близьких за хімічною природою та маючих, порівняно невеликий перепад за розмірами, наприклад системи цемент-зола. При великому перепаді розмірів частинок контактуючих порошків, характерному для сумішей МК – зола, МК – зола – портландцемент, спостерігається екстремальний ефект аутогезії, обумовлений зміною поверхності руйнування в результаті кластероутворення. Утворення кластерів або структурних агрегатів частинок МК на частинках золи-уносу встановлено за допомогою електронної мікроскопії. Додавання до золи до  $20\%$  МК підвищує аутогезію майже у 2 рази та доводить її до значення аутогезії чистого МК. Збільшення долі МК у суміші із золою більше  $40\%$  приводить до поступового зменшення аутогезії. Приблизно аналогічний характер має зміна аутогезії в системах цемент – МК та цемент – зола – МК. Значення теплоти змочування  $/Q /$  для МК, золи – уносу та їх сумішей, виміряні на мікрокалориметрі, характерні для гідрофільних матеріалів відповідної дисперсності. Із виразу  $Q$ , основанийого на рівнянні Лапласа для

вільної поверхневої енергії, знайдені розрахункові значення

$$S_{\text{пит.}} : S_{\text{пит.}} = a / \varepsilon_{\text{ж-г}}$$

де  $\varepsilon_{\text{ж-г}}$  - повна поверхнева енергія на границі розділу рідина - газ /для води  $\varepsilon_{\text{ж-г}} = 0,117 \text{ Дж/м}^2$ /.

Отримані розрахункові значення  $S_{\text{пит.}}$  для МК є вищими за виміряні на приладі ПСХ-2 і близькі до експериментальних значень, отриманих іншими авторами методами адсорбції азота і пенетрації ртуті.

Додавання МК до золи-уносу підвищує теплоту змочування, а отже повну поверхневу енергію сумішей у відповідності із степеневою залежністю типу

$$y = Ax_1^B,$$

де А і В - константи / $B < 1$ /;  $x_1$  - об'ємна концентрація МК в суміші МК і золи.

Пуцоланову активність МК, золи та їх композицій визначали за прискороною методикою НДІЗБа. Змішування золи-уноса з 20...30% МК дозволяє збільшити поглинання вапна майже у 2 рази, у той час, як додатковий помел золи до  $S_{\text{пит.}} = 420...450 \text{ м}^2/\text{кг}$  - тільки у 1,5 рази. Тривалість першого періоду кривих кінетики поглинання вапна наповнювачами, який відповідає адсорбції  $\text{Ca}/\text{OH}/_2$  на активних центрах у МК та золомікрокремнеземистих сумішей в 3...4 рази коротша, ніж у золи.

При твердінні цементно- і вапняно-зольних композицій, вміщуючих МК, в нормальних умовах, помітне зв'язування  $\text{Ca}/\text{OH}/_2$  в гідратні сполуки, як показали результати диференційно-термічного і рентгеноструктурного аналізу, простежується вже в однодобовому віці. МК так само, як хлорид кальцію та лужні сполуки можна розглядати у якості прискорювача гідратації і твердіння зольних в'язких. Введення 30% МК від маси композиційного наповнювача доводить степінь гідратації у віці 28 діб до 0,8, а у віці 3 діб - до 0,65, що приблизно на 25% вище чим без МК. При цьому прискорюючий гідратацію ефект ЗМКН достатньо близький до ефекта чистого МК.

Для встановлення впливу основних факторів складу на реологічні властивості цементно-водних паст наповнених ЗМКН, виконані алгоритмізовані експерименти у відповідності з планом  $B_4$ . В результаті обробки експериментальних даних по виміру в'язкості наповнених цементно-водних паст за допомогою ротаційного віскозиметра отримана математична модель ефективної в'язкості в Па·с:

$$y_i = 210,5 + 121,4x_1 + 54,6x_2 + 85,3x_3 - 105,3x_4 - 28,5x_1x_2 - 21,7x_2x_3 + 55,3x_1^2 + 31,3x_2^2 + 15,4x_3^2.$$

$$\text{де } x_1 = /X_1 - 0,5//0,5; \quad x_2 = /X_2 - 0,45//0,25;$$

$$x_3 = /X_3 - 0,65//0,05; \quad x_c = /X_c - 0,01//0,01.$$

Нараду с  $X_1$  в моделі враховано вплив  $X_2$  - об'ємної концентрації ЗМКН у в'язучому,  $X_3$  - наповненого в'язучого в цементному тісті та  $X_c$  - суперпластифікатора у водному затворювачі.

Аналіз моделей показує, що за впливом на величину в'язкості у вибраній області вимірювання фактори можна розставити в слідуючий ряд:  $X_1 > X_c > X_3 > X_2$ . Основним технологічним прийомом зниження в'язкості цементно-водних систем, вміщуючих МК і ЗМКН, є застосування для затворення водного розчину суперпластифікатора певної концентрації. Введення МК в композиції із золою приводить до зменшення в'язкості цементно-водних паст у порівнянні з чистим МК. Повна заміна МК золи-уноса не компенсується навіть при подвійній концентрації суперпластифікатора.

В умовах вібрування наповнених паст в'язкість, як показали виміри за способом спливання кульки, зменшується до 3 раз і більше. Вплив добавки суперпластифікатора збільшується по мірі росту об'ємної концентрації МК.

Кінетику структуроутворення цементних паст, наповнених ЗМКН, вивчали за допомогою виміру пластичної міцності і швидкості проходження ультразвукових хвиль. Аналіз пластогам і кривих швидкості проходження ультразвуку показує, що як МК, так і ЗМКН збільшують міцність коагуляційної структури та різко прискорюють процеси кристалізації новоутворень при твердінні цементу. Вже приблизно через 2...3 год. після кінця тужавлення пластична міцність наповнених цементних паст з добавкою суперпластифікатора збільшується майже в 4 рази. Характерно, що зміна об'ємної концентрації МК у складі ЗМКН від 0,2 до 1 несуттєво відбивається на зростанні пластичної міцності.

Суттєвий вплив ЗМКН на гідратацію і структуроутворення цементно-водних паст простежується і в зростанні міцності наповненого цементного каменю. Це впливає із отриманих експериментально-статистичних моделей міцності при стиску цементів М 500 /  $y_2$  / та М 400 /  $y_3$  /, наповнених ЗМКН.

$$y_2 = 56,5 - 8,5x_1 - 12,4x_1^2 - 5,5x_2 - 3,6x_2^2 + 9,2x_c - 4,3x_c^2 - 2,2x_1x_2 + 4,1x_1x_c + 2,5x_2x_c;$$

$$y_3 = 45,6 - 6,7x_1 - 10,6x_1^2 - 3,9x_2 - 2,8x_2^2 + 7,4x_c - 3,6x_c^2 - 1,8x_1x_2 + 3,4x_1x_c + 1,9x_2x_c.$$

Активність цементів, як впливає із аналізу моделей, можна значно збільшити, наповнюючи їх ЗМКН з використанням для затворен-

ня водного розчину суперпластифікатора. Оптимальні значення факторів  $X_i$ , які знайдені при диференціюванні  $\partial y / \partial X_i$ , "плавають" в залежності від значень факторів  $X_j$ . Цьому сприяє наявність значимих ефектів взаємодії між факторами в моделях міцності.

В бетонних сумішах вивчали із застосуванням стандартизованих експериментальних методик вплив ЗМКН на водопотребу, зручновкладальність, водо- і розчиновідділення. Встановлено, що найбільш значне підвищення водопотреби із зростанням  $X_I$  відчувається в рухомих сумішах. Розрив у водопотребі бетонних сумішей без і з МК при введенні суперпластифікатора зменшується по мірі зниження рухомості і при  $W \geq 30$  с при  $X_I = 0,2$  практично зникає. Підвищення  $X_2$ , тобто об'ємної концентрації ЗМКН у в'язучому, при порівняно невисокому вмістові МК в меншій мірі відбивається на водопотребі чим  $X_I$ .

Наповнення бетонних сумішей ЗМКН при обмеженій витраті цементу суттєво впливає на темп падіння рухомості. При  $X_I > 0,2$  навіть при помірному вмістові в сумішах  $C-3 / X_C \leq 0,01$  / рухомі бетонні суміші /OK = 9...12 см/ вже через 0,5 год. переходять у малорухоми або жорсткі. На стабілізацію рухомості позитивно впливає підвищення концентрації суперпластифікатора.

У відповідності з планом На<sub>5</sub> поставлені експерименти по вивченню впливу на властивості бетонних сумішей і міцність бетону 5 факторів. Окрім  $X_I$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  і  $X_C$  вивчали вплив фактора  $X_4$  - об'ємної концентрації наповненого цементного тіста в бетонній суміші.

В отриманій моделі зручновкладальності бетонної суміші значні ефекти взаємодії між факторами  $X_I$  і  $X_C$ ,  $X_I$  та  $X_2$  вказують на необхідність тісної ув'язки МК, золи і суперпластифікатора.

Вплив об'ємної концентрації МК в ЗМКН, як випливає із аналізу відповідних моделей, неодинаково відбивається на водо- і розчиновідділенні бетонних сумішей. Якщо збільшення  $X_I$  у всьому інтервалі значень веде до зниження водовідділення, то розчиновідділення, спочатку зменшуючись при зростанні  $X_I$ , потім починає збільшуватися. В меншій мірі чим  $X_I$  зменшує водовідділення ріст значень інших концентраційних факторів за виключенням об'ємної концентрації суперпластифікатора у водному розчині затворювача. Збільшення останньої сприяє суттєвому росту водовідділення, що узгоджується з відомим механізмом водовідділення.

Збільшення об'ємної концентрації ЗМКН у в'язучому знижує розчиновідділення. Знижує розчиновідділення наповнених бетонних сумішей і добавка суперпластифікатора за рахунок додаткового повіт-

ривтягування.

Суттєвий вплив ЗМКН на міцність наповнених цементноводних систем позначається і на міцності бетону. Нижче наведені отримані експериментально-статистичні моделі міцності пропареного бетону /  $Y_7$  / і бетону нормального твердіння /  $Y_8$  /.

$$Y_7 = 18,5 + 4,5x_1 + 3,3x_2 + 4,3x_3 + 2,8x_4 - 2,4x_1^2 - 1,9x_2^2 - 0,5x_3^2 - 0,7x_4^2 + 2,4x_1x_2 - 0,6x_1x_3;$$

$$Y_8 = 23,4 + 4,9x_1 + 2,8x_2 + 4,1x_3 + 2,7x_4 - 2,7x_1^2 - 2,1x_2^2 - 0,3x_3^2 - 0,8x_4^2 + 1,9x_1x_2 - 0,8x_1x_3,$$

де  $x_1 = X_1 - 0,5 / 0,5$ ;  $x_2 = X_2 - 0,4 / 0,15$ ;  
 $x_3 = X_3 - 0,5 / 0,1$ ;  $x_4 = X_4 - 0,01 / 0,01$ .

Аналіз моделей дозволяє відмітити, що як в умовах пропарювання, так і при нормальному твердінні введення МК в бетонну суміш і підвищення його об'ємної концентрації в ЗМКН приводить до підвищення міцності бетону. При цьому більше 80% приросту міцності досягається за рахунок зміни  $X_1$  від 0 до 0,5. При  $X_1 < 0,5$  бажано щоб  $X_2$  був не менше 0,4. Наявність в моделях суттєвого ефекта взаємодії факторів  $X_1$  та  $X_4$  показує, що при максимальній об'ємній концентрації МК в ЗМКН додатковий приріст міцності має місце при підвищеній концентрації суперпластифікатора у водному затворювачі.

Досліди показали також, що введення МК в склад бетонних сумішей прискорює твердіння бетону в 7-добовому віці і практично не відбувається на зростанні міцності в 90- і 180-добовому віці.

Сумісне вирішення математичних моделей зручновкладальності і міцності бетону дозволило запропонувати розрахунково-експериментальний метод проектування складів бетонних сумішей, наповнених ЗМКН.

Зміна міцності бетонів з ЗМКН добре узгоджується із змінами їх порової структури, для дослідження якої використано аналіз кінетики водонасичення. При збільшенні  $X_1$  до 0,5 та  $X_2$  до 0,4 помітно зменшуються поряд з інтегральною, відкрита пористість бетону, показник середнього розміру пор, підвищується однорідність розподілу пор за розмірами.

Більш високе співвідношення загального об'єму пор та об'єму відкритих пор в бетонах з ЗМКН сприяє їх вищій морозостійкості, чим бетонів із зольним наповнювачем, а також наповнювачем, представленим лише МК. Як показали експерименти, наповнювач, що включає лише золу-унос, збільшує відкриту пористість бетону при постійній витраті в'язучого. В бетонах, наповнених лише МК, відмічене знижене повітрявтягування при введенні суперпластифікатора, зу-

мовлене ультрависокою дисперсністю наповнювача.

Введення ЗМКН може приводити як до підвищення, так і до зменшення модуля пружності в залежності від характеру зміни структурних параметрів і міцності бетону. Співвідношення статичного і динамічного модулей пружності для досліджених бетонів із ЗМКН встановлене в інтервалі 0,87...0,95.

Умовний розтяг бетонів /відношення міцності на розтяг при розколюванні до динамічного модуля пружності/, наповнених ЗМКН, на відміну від ненаповнених із зростанням тривалості твердіння має тенденцію до зниження. Відповідно змінюється також співвідношення міцності при розтягу до міцності при стиску.

В комплексі деформативних властивостей бетонів вимірювали також усадочні деформації. Усадка бетонів із ЗМКН виявилась у 1,2...2 рази нижчою, чим у контрольних. При повній заміні зольного компоненту наповнювача МК деформації усадки знизились більш чим у 4 рази у порівнянні з деформаціями ненаповнених бетонів, що можна пояснити переведенням значної кількості води в бетонах з МК в адсорбційно-зв'язаний стан та попередженням швидкого висихання.

Заміна в наповнювачі частини золи МК збільшує водонепроникність і сульфатостійкість бетонів. Для малоцементних бетонів із ЗМКН при  $X_1 = 0,2...1$  і  $X_2 = 0,6$  водонепроникність у віці 28 діб може досягати 0,5...0,8 МПа. Коефіцієнти росту водонепроникності в часі збільшуються при зростанні долі зольного компонента в ЗМКН. Вони коливаються від 1,5 до 3,3 в 180-добовому та від 1,75 до 4,3 у 360-добовому віці. Будучи сильноагресивним середовищем для ненаповнених бетонів і середньоагресивним для бетонів із зольним наповнювачем, 5%-ний водний розчин  $Na_2SO_4$  для бетонів із ЗМКН виявився неагресивним середовищем. Для бетонів з композиційним наповнювачем було відмічене не зниження, а деякий ріст міцності при витримуванні у розчині  $Na_2SO_4$ .

Корозію арматури в наповнених бетонах різних складів досліджували за методикою НДІЗВа. Отримані результати показали, що у малоцементних / $C < 200$  кг/м<sup>3</sup>/ бетонах, наповнених як золою-уноса, так МК і ЗМКН рН понижується нижче критичної границі /  $< 11,8$ /, що викликає вже при 180-добовому віці твердіння у повітряно-вологому середовищі значну корозію сталюї арматури. МК і ЗМКН сприяють більш інтенсивному зниженню рН чим зола-унос та відповідно більш глибокій карбонізації бетону. Пасивуючий вплив бетону на корозію сталюї арматури зберігається при помірних витратах цементу. Так, при  $C = 246$  кг/м<sup>3</sup>  $X_1 = 0,2...0,5$  та  $X_2 = 0,4$  навіть через рік твердіння рН не зменшується нижче 11,9, а глибина карбонізації складала 6...8 мм.

В діючих технологічних лініях по виробництву бетонних сумішей і виробів використання МК можливе у порошку, гранулах або брикетах і водній суспензії. Виконані дослідження показали, що утворення достатньо міцних гранул із МК переважно фракції 5...20 мм можливе у барабанному грануляторі при оптимальній вологості 20...25%. При застосуванні МК у вигляді шламу нормальна текучість  $45 \pm 2$  мм по текучостеміру МХТІ/ досягається при вологості 50...55%. Для золомікрокремнеземистого шламу при 20...40% МК вологість, яка необхідна для досягнення нормальної текучості знижується до 35...40%. Додаткове зниження вологості шламів на 5...7% без погіршення текучості можна забезпечити введенням суперпластифікатора С-3 в кількості 0,2...0,3% від маси сухого наповнювача.

Порівняльні дослідження ефективності отримання малоцементних бетонних сумішей проводили за традиційною і інтенсивною роздільною /ІРТ/ технологіями. Результати лабораторних випробувань показали, що застосування ІРТ дозволяє збільшити міцність бетонів з композиційним наповнювачем в 7 діб на 22...29%, 28 діб - на 15...18%.

Дослідно-виробнича апробація можливості та ефективності виробництва малоцементних бетонів із ЗМКН втілювались в умовах Рівненського заводу КЦД. Із дослідних партій важкого бетону /цемент М 400 - 120 кг/м<sup>3</sup>, зола-унос - 120 кг/м<sup>3</sup>, МК - 35 кг/м<sup>3</sup>/ виготовляли фундаментні блоки, легкого керамзитобетона /цемент М 400 - 150 кг/м<sup>3</sup>, зола-унос - 100 кг/м<sup>3</sup>, МК - 50 кг/м<sup>3</sup>/ - стінові камені. В бетонні суміші вводили добавку суперпластифікатора С-3 /1% від маси цементу/. Вироби виготовляли за звичайними технологічними режимами, прийнятими на заводі. Вимагаємий клас важкого бетону по міцності - В 12, легкого - В 7,5 за рахунок використання ЗМКН був досягнутий при витраті цементу на 40...45% нижчій чим при використанні базових складів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

І. Додавання до золи-уноса до 20% мікрокремнезема /МК/ майже в 2 рази підвищує аутогезію частинок наповнювача та їх пуцоланову активність. При великому перепаді розмірів частинок, характерному для сумішей МК - зола та МК - зола - портландцемент, спостерігається екстремальний ефект аутогезії.

Зміна поверхневої енергії золомікрокремнеземистих сумішей підкоряється степеневій залежності типу  $y = Ax_1^B$ , де А і В - константи /В < 1/,  $x_1$  - об'ємна концентрація МК у суміші МК та золи.

2. При твердінні цементно- і вапняно-золотмікрокремнеземистих сумішей в нормальних умовах помітне утворення гідратних фаз спостерігається вже в однодобовому віці. Практично повне поглинання  $\text{Ca}/\text{OH}/_2$  відбувається при вмістові золотмікрокремнеземистого наповнювача /ЗМКН/ до 40% від маси цементу вже у віці 7 діб. Введення ЗМКН збільшує степінь гідратації цементу, доводячи її в 28-добовому віці до 0,8.

3. Введення в цементні пасти ЗМКН приводить до збільшення в'язкості по мірі зростання об'ємної концентрації МК в суміші МК і золи-уноса  $/X_I/$ . Основним технологічним прийомом зниження в'язкості цементно-водних систем, вміщуючих МК та ЗМКН, є застосування суперпластифікаторів.

При введенні МК і ЗМКН в цементні пасти збільшується як міцність коагуляційних контактів, так і швидкість процесів кристалізації новоутворень, що підтверджується характером зміни пластичної міцності, швидкості проходження ультразвукових хвиль, строків тужавлення і активності цементу. Найбільш суттєва зміна особливостей структуроутворення наповнених цементних систем характерна при збільшенні об'ємної концентрації МК в складі ЗМКН до 0,2.

4. При забезпеченні необхідної зручновкладальності бетонних сумішей, наповнених ЗМКН, вимагається облік взаємодії факторів, характеризуючих об'ємну концентрацію МК в ЗМКН  $/X_I/$ , ЗМКН в наповненому в'язучому  $/X_2/$  і суперпластифікатора у водному затворювачі  $/X_3/$ . Для малоцементних  $/C < 200 \text{ кг/м}^3/$  бетонних сумішей, наповнених ЗМКН, можна досягти в певній області складів практично невідчутних значень водо-та розчинивідділення.

5. В умовах, як нормального твердіння, так і пропарювання, застосування в малоцементних бетонах ЗМКН приводить до підвищення міцності через 7 і 28 діб, а також після пропарювання - на 60... 75%. При цьому більше 80% приросту міцності досягається при зміні  $X_I$  від 0 до 0,5. При  $X_I < 0,5$  бажано щоб  $X_2$  був не менше 0,40. Додавка суперпластифікатора виявляє позитивний вплив на міцність бетону з ЗМКН особливо по мірі росту  $X_I$  навіть при постійній об'ємній концентрації в'язучого в наповненому цементному тісті.

Сумісний аналіз математичних моделей показників зручновкладальності і міцності бетону з ЗМКН дозволяє проектувати оптимальні склади наповнених бетонних сумішей.

6. Застосування ЗМКН в малоцементних бетонах приводить до зменшення значень інтегральної та відкритої пористості, показника середнього розміру пор, підвищенню однорідності пор за розмірами.

Повна заміна золи мікрокремнеземом не сприяє покращенню параметрів порової структури бетонів. Зниження об'єма втягуемого повітря при підвищеному вмісті МК в бетонній суміші і повній заміні ним зольного наповнювача веде до зменшення морозостійкості бетонів.

7. Співвідношення призмової і кубикової міцності бетонів з ЗМКН зводиться у межах 0,75...0,79, статичного і динамічного модулей пружності - 0,87...0,95. Умовний розтяг бетонів з ЗМКН і співвідношення для них міцності на розтяг до міцності на стиск вищі чим для бетонів без наповнювачів як в 28 діб, так і в послідовні строки твердіння.

Усадні бетонів з ЗМКН в 1,2...2 рази нижче чим у контрольних. При повній заміні зольного компонента наповнювача МК деформації усадки зникають більше чим у 4 рази в порівнянні з деформаціями ненаповнених бетонів.

8. Бетони з ЗМКН мають більш високу водонепроникність і сульфатостійкість чим ненаповнені бетони і бетони з зольним наповнювачем, особливо у 28 добовому віці. Малоцементні бетони з ЗМКН після річного витримування в 5% розчині сульфата натрія не знижують міцності.

В наповнених малоцементних бетонах рН понижується менше за 11,8, що викликає вже до 180-добового віку твердіння у повітряно-вологому середовищі значну корозію арматури.

9. Раціональними технологічними прийомами при отриманні бетонів з ЗМКН є гранулювання МК, попереднє приготування шламу, який включає МК, золу-унос і водний розчин суперпластифікатора. Отримання малоцементних бетонів з ЗМКН за інтенсивною роздільною технологією дозволяє підвищити міцність в 7-добовому віці на 22...29%, а у 28-добовому - на 15...18%.

У виробничих умовах підтверджене ефективність малоцементних бетонів з ЗМКН, показана можливість за рахунок застосування композиційного золомікрокремнеземистого наповнювача у комплексі з додавкою суперпластифікатора економії до 40...45% портландцементу.

Основні положення дисертаційної роботи викладені у наступних роботах автора:

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Кинетика гидратации алюмосиликатных материалов при щелочной активации. //Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1991. - № 4. - С.50...54.

2. Дворкин Л.И., Пашков И.А., Дворкин О.Л. Особенности гидратации известково-золевых суспензий //Журнал прикладной химии. - Т.67.- 1994, - № 4. - С.669...672.

3. Пашков И.А., Дворкин О.Л. Химически активированные известково-золевые бетоны на золе гидроудаления. // Строительные материалы и конструкции. - № 4. - С. 15.

4. Дворкин Л.И., Пашков И.А., Дворкин О.Л. Бетоны с комплексным микрокремнеземистым наполнителем // Энергетическое строительство. - 1995.

5. Пашков И.А., Дворкин О.Л. Бетоны на цементах с зола-микрокремнеземистым наполнителем. // Изв. вузов. - Строительство. - №2, 1995. - С.60...65.

6. Дворкин Л.И., Марчук В.М., Дворкин О.Л. Электрохимическая активация процесса твердения известково-золевых вяжущих. // Утилизация промышленных отходов для производства экологически чистых и эффективных строительных материалов. - Тезисы докладов конференции. - Ровно, 1991. - С.35...37.

7. Пашков И.А., Дворкин О.Л. Малоцементные зола-содержащие бетоны. // Научно-технический прогресс в строительстве. - Тезисы докладов конференции. - Пенза, 1993. - С. 20...21.

8. Пашков И.А., Дворкин О.Л. Малоцементные бетоны с активированными наполнителями. // Экспериментально-статистическое моделирование в компьютерном материаловедении. - Тезисы докладов международного семинара. - Одесса, 1993. - С.46...47.

9. Дворкин О.Л., Пашков И.А., Дворкин Л.И. Проектирование состава бетона с композиционным наполнителем. // Принятие рецептурно-технологических решений по экспериментально-статистическим моделям. - Тезисы докладов семинара. - Одесса, 1994. - С.6...7.

10. Дворкин О., Пашков И., Ордавський В., Чудновський С., Дейниковський Ю. Бетон з композиційним наповнювачем. - Інформаційний листок, № 13, 1994. - ЦНТІ. - Рівне. - 1994. - 5с.

11. Дворкин Л.И., Чудновський С.М., Дворкин О.Л. Нові принципи моделювання властивостей багетоконпонентних композиційних матеріалів. - Тези доповідей всеукраїнської наукової конференції "Застосування обчислювальної техніки математичного моделювання у наукових дослідженнях. - Львів, 1994. - С.34.

12. Пашков И.А., Дворкин О.Л., Чудновский С.М. Малоцементные бетоны с зола-микрокремнеземистым наполнителем и суперпластификатором // Совершенствование стройматериалов, технологий и методов расчета конструкций. - Тезисы докладов международной конференции. - Сумы, 1994. - С.41.. 42.

13. Дворкин О.Л., Пашков И.А. Особенности структурообразования цементно-водных систем с зола-микрокремнеземистым наполнителем. // Структурообразование, прочность и разрушение композиционных материалов и конструкций. - Материалы международного семинара. - Одесса, 1994. - С. 13.

Дворкин О.Л. Бетоны с композиционным заполнителем. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.25.05 "Строительные материалы и изделия". Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры, Киев, 1995.

В диссертации разработаны технологические параметры получения бетонов с расходом цемента менее  $200 \text{ кг/м}^3$  при использовании композиционного золомикрокремнеземистого наполнителя (ЗМКН). Исследованы особенности изменения аутогезии и поверхностной энергии частиц в системе зола-микрокремнезем, процессы гидратации и структурообразования цементных паст, наполненных ЗМКН, их реологические свойства. Изучены водопотребность, удобоукладываемость, водоотделение и расслаиваемость бетонных смесей с ЗМКН, комплекс строительно-технических свойств наполненных бетонов. Предложен метод проектирования составов бетонов с композиционным наполнителем. Результаты лабораторных исследований подтверждены опытно-производственным получением строительных изделий из бетонов с ЗМКН.

Ключевые слова : зола, микрокремнезем, золомикрокремнеземистый наполнитель (ЗМКН), аутогезия, поверхностная энергия, гидратация, структурообразование, бетонные смеси, бетоны с ЗМКН.

Dvorkin O.L. Concretes with composition ash-microsilica filler. Ph. D Research work. Speciality No. 05.23.05 "Building materials and Products", Ki v State Technical University of construction and Architecture, Kiev, 1995.

Technological parameters of obtain of concretes with expenditure of cement below  $200 \text{ kg/m}^3$  by utilization composition ash-microsilica filler (AMSF) are worked up in the dissertation.

Peculiarities of the autogesion and surface energy change in the system ash-microsilica, processes of the hydration and structure-formation of cement pastes, filled of AMSF, their reological properties are researched. Water consumption, work-ability, water separation and axfoliation of concrets mixes with AMSF, complex of building-technical properties of filled concretes are studied.

Method of filled concrete mix Design also is suggested. Results of laboratory investigations are corroborated by experimental-industrial obtaining of the concrets products with AMSF.

Key words: Ash, microsilica, ash-microsilica filler (AMSF), autogesion, surface energy, hydration, structure-formation, concrete mixes, concrete with AMSF.

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України



446043

AB 33.236