

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Інститут транспорту і логістики
Кафедра міського будівництва та господарства**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня магістр**

спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціалізація «Міське будівництво та господарство»
(шифр і назва спеціальності)

на тему «Дослідження сучасних теплоізоляційних матеріалів
підвищеної міцності»

Виконав: студент групи МБГ-16дм

Біляк А.М. _____
(прізвище, ініціали) (підпис)

Керівник доц. Білошицька Н.І. _____
(науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри проф. Татарченко Г.О. _____
(науковий ступінь, прізвище, та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Севєродонецьк – 2018

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 4 |
| 1. Сучасний стан питання про виробництво теплоізоляційного пінобетону модифікованого добавками | 6 |
| 1.1. Пінобетон в сучасному будівництві | 6 |
| 1.2. Водоредукуючі добавки при виробництві пінобетону | 8 |
| 1.3. Мікрокремнезем як модифікатор пінобетону | 11 |
| Висновки до розділу 1 | 14 |
| 2. Методика досліджень | 15 |
| 2.1. Визначення фізико-механічних властивостей компонентів пінобетонної суміші | 15 |
| 2.2. Методика підбору складу пінобетону | 20 |
| 2.3. Визначення фізико-механічних характеристик пінобетону | 25 |
| Висновки до розділу 2 | 31 |
| 3. Компоненти суміші: піноутворювачі, пластифікатори нового покоління в теплоізоляційних пінобетонах | 32 |
| 3.1. Характеристики пін: кратність, стійкість у часі, коефіцієнт використання | 32 |
| 3.2. Характеристики цементного тіста з добавками піноутворювачів: рухливість, терміни тужавіння | 33 |
| 3.3. Міцність при стиску цементної матриці з добавками піноутворювачів | 33 |
| 3.4. Водоредукуючий ефект | 36 |
| 3.5. Коефіцієнт використання піни з добавками пластифікаторів | 36 |
| 3.6. Фізико-хімічний механізм взаємодії цементного розчину і пластифікатора | 37 |
| 3.7. Вплив пластифікатора на технологічні чинники і відпускні параметри пінобетону | 49 |
| Висновки до розділу 3 | 72 |

| | |
|---|-----|
| 4. Застосування мікрокремнезему і пластифікаторів у теплоізоляційному пінобетоні та їх вплив на фізико-механічні і теплотехнічні характеристики пінобетону | 74 |
| 4.1. Мікрокремнезем в цементній системі | 74 |
| 4.2. Вплив мікрокремнезему на рухливість розчинної суміші | 75 |
| 4.3. Спільний вплив пластифікатора і мікрокремнезему на рухливість розчинної суміші | 79 |
| 4.4. Вплив добавки мікрокремнезему і комплексної добавки-пластифікатора і мікрокремнезему на міцність при стиску, вологість і теплопровідність пінобетону зразків | 87 |
| Висновки до розділу 4 | 98 |
| Загальні висновки | 100 |
| Список використаних джерел | 102 |

ВСТУП

Актуальність роботи: В даний час неухильно збільшується частка неавтоклавного пінобетону середньою щільністю від 400 до 600 кг/м³, що застосовується для зовнішнього стінового огороження. Неавтоклавний пінобетон є одним з ефективних теплоізоляційних будівельних матеріалів.

Незважаючи на свої позитивні якості, такі як низькі теплопровідність, середня щільність і витрати на виробництво, а також можливість утилізації промислових відходів, неавтоклавні пінобетони характеризуються рядом недоліків, головним з яких є невисока міцність. Це ускладнює його застосування у якості стінового матеріалу і утеплювача міжповерхових перекриттів, де потрібно забезпечити необхідну міцність в границях від 0,5 до 2,0 МПа. Застосування пластифікаторів і ультрадисперсних наповнювачів дозволить домогтися фізико-механічних властивостей неавтоклавного пінобетону, порівнянних з автоклавним при тій же середній щільності. В даний час з'являється велика кількість пластифікаторів, застосування яких в технології пінобетону обмежена і маловивчена.

Мета роботи: дослідження властивостей сучасних теплоізоляційних пінобетонів неавтоклавного тверднення, модифікованих пластифікаторами нового покоління з використанням мікрокремнезему і дослідження їх фізико-механічних і теплотехнічних властивостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- теоретично обґрунтувати вибір поверхнево-активних речовин (ПАР) для отримання теплоізоляційного пінобетону з підвищеними характеристиками міцності;
- проаналізувати склади ефективного теплоізоляційного пінобетону з застосуванням пластифікаторів нового покоління і мікрокремнезему, що дозволяють знизити витрату портландцементу;
- встановити взаємозв'язок фізико-механічних і теплотехнічних характеристик модифікованого пінобетону від кількості добавок, що вводяться;

Апробація роботи

Результати досліджень доповідалися і обговорювалися на:

- на всеукраїнській науково-практичній конференції «Майбутній науковець – 2017» (м. Сєвєродонецьк, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля);
- на ХІХ міжнародній науково-технічній конференції «Технологія-2017» (м. Сєвєродонецьк, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля).

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 105 сторінках, містить 22 таблиці, 77 рисунків, бібліографічний список з 45 найменувань.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ПРО ВИРОБНИЦТВО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО ПЕНОБЕТОНУ МОДИФІКОВАНОГО ДОБАВКАМИ

1.1. Пінобетон в сучасному будівництві

Пінобетон – штучний поризований кам'яний матеріал. Його отримують шляхом змішування окремо приготовленої піни з розчинною сумішшю (в'язуча речовина, заповнювач, вода) або швидкісним перемішуванням (збиванням) розчинної суміші з піноутворювачем, який є поверхнево-активною речовиною (ПАР) і зменшує поверхневий натяг води, а також утримує залучене при перемішуванні повітря. Залежно від середньої щільності пінобетон може містити 85% і більше повітря. Присутність в ньому повітря забезпечує високі тепло- і звукоізоляційні властивості.

Розглянуті в роботі пінобетони середньої щільності від 400 до 500 кг / м³ відносяться до теплоізоляційних матеріалів.

Дослідженнями пінобетонів в нашій країні почав займатися професор А.А. Брюшков в 1928 році, а в 30-ті роки ХХ століття його стали широко застосовувати для покрівель промислових будівель в якості монолітної теплоізоляції. У якості піноутворювачів застосовували клейоканіфольний, алюмосульфонафтенний та смолосапоніновий, які сповільнювали терміни тужавіння цементу і не дозволяли знизити середню щільність нижче 400 кг / м³.

У післявоєнний відновний період, став широко застосовуватися пінобетон автоклавного тверднення, розроблений професорами А.В. Волженським та П.І. Боженовим. У 1953 р. були введені в експлуатацію перші цільнопінобетонні житлові будинки. Але оскільки автоклавний пінобетон показав низьку тріщиностійкість, надалі стали застосовувати автоклавні газобетони.

Вітчизняним і зарубіжним досвідом виробництва і застосування пінобетонів встановлена їх висока техніко-економічна ефективність.

Пінобетону середньою щільністю 500 кг / м³ і менше належить провідна

роль у вирішенні науково-технічної задачі зі зниження маси конструкцій, а також економії енергоресурсів (при опаленні) зведених будинків і утилізації промислових відходів. Пінобетонні конструкції і вироби дозволяють прискорити монтажні роботи і зменшити трудовитрати.

Теплоізоляційні пінобетони найбільш доцільно застосовувати в житловому будівництві, де особливо гостро стоять питання зниження вартості будинків, підвищення точності виробів і якості будівництва, зниження матеріалоемності та трудомісткості, поліпшення мікроклімату приміщень і економії витрат на опалення.

Можливість монолітної заливки на фоні тенденції до збільшення частки монолітно-каркасного домобудівництва зумовлює зростання потреби в цьому матеріалі. Однак випуск пінобетону, особливо низької щільності, пов'язаний з рядом труднощів: піноцементна суміш не завжди стійка, часто дає осадку, одержуваний матеріал неоднорідний за властивостями. Тому в даний час переважно випускаються пінобетони марки за щільністю від D600 до D800, в той час як для підвищення ефективності теплозахисту по параметру товщини стіни і витрати матеріалів необхідний стіновий заповнювач меншої щільності. [1, с. 8]

Будівництво заводів з виготовлення пінобетону вимагає менших капітальних вкладень, ніж будівництво заводів, які виробляють вироби і конструкції з легких бетонів. Для пінобетонів не потрібно додаткового виробництва легких заповнювачів (наприклад, керамзиту або перліту).

Тому проведення досліджень з розробки складів неавтоклавних теплоізоляційних пінобетонів з підвищеними характеристиками міцністними характеристиками є одним із актуальних завдань в промисловості будівельних матеріалів.

За допомогою наукових досліджень необхідно вирішити питання про підвищення міцності при стиску неавтоклавного пінобетону середньою щільністю від 400 до 500 кг/м³ до рівня автоклавного газобетону при відповідній середній щільності.

Таку міцність при стиску даному пінобетону можна задати тільки при введенні модифікуючих добавок, правильному проектуванні складу, належному приготуванні, укладанні, а також при правильному догляді пінобетону на початковій стадії його тверднення. Збільшення міцності неавтоклавного теплоізоляційного пінобетону, зниження його собівартості і загальна рентабельність виробництва залежать від технології виробництва високоякісного пористого будматеріалу.

Міцність пінобетону залежить більшою мірою від міцності міжпорових перегородок, збільшити останню можна шляхом:

- зниження водотв'єрдого (водоцементного) відношення за допомогою пластифікаторів, що призведе до зниження капілярної пористості матеріалу;
- введення до складу пінобетонної суміші ультрадисперсних наповнювачів (відходів виробництв) з малою насипною щільністю, таких як мікрокремнеземи.

1.2. Водоредукуючі добавки при виробництві пінобетону

Застосування пластифікуючих добавок є перспективним напрямком в підвищенні ефективності пінобетонів і поліпшення їх експлуатаційних властивостей. Введення пластифікаторів в бетонні і розчинні суміші, дозволяє підвищити їх рухливість, не викликаючи зниження міцності при стиску бетону або розчину. Навіть в невеликих кількостях, вони значно впливають на процеси гідратації цементу, що дозволяє позитивно впливати на властивості пінобетонів.

Пластифікуючі добавки були відкриті і запатентовані в 1935 році, але широко застосовуватися в технології бетону стали в 60-х роках ХХ століття. Випускати суперпластифікатори як товарні продукти початку фірма «Сюдентше Кальштїкштофф Верку» («Suddentsche Kalstickstoff - Weyke») (Німеччина) і «Као Соап ЛТД» («Kao Soap Co Ltd»). З 1978 року в нашій країні в промисловому масштабі почав випускатися суперпластифікатор С-3.

На сьогоднішній день пластифікатори можна класифікувати наступним

чином:

- модифіковані лігносульфанати;
- нафталінсульфанати;
- меламінсульфанати;
- поліакрилати;
- полікарбоксилати (гіперпластифікатори).

Їх правильне застосування дозволяє отримати максимально високі показники якості бетону або розчину.

Механізм дії пластифікаторів полягає в його адсорбції на гідратуючих цементних зернах і тонкомелених кремнеземистих компонентах. При цьому відбувається утворення мономолекулярного шару, що знижує внутрішнє тертя, і пептизація флокулами цементних частинок. Збільшення кількості гідратуючих цементних частинок при пептизації прискорює процеси гідратації, а відповідно і зростання міцності бетону.

Суперпластифікатори і гіперпластифікаторів [2, с. 125] в основному використовуються для виробництва важких бетонів. В технології пінобетону застосування пластифікуючих добавок стримується завдяки їх негативному впливу на стійкість піни.

У різні роки пластифікацією пінобетонних сумішей займалися Калашников В.І., Макридіні Н.І., Местников А.Е., Кузнєцов Ю.С., Іванов І.А., Ухова Т.А., Кривицька І.Г., Дворкін Л.І. та ін.

Експериментальні дослідження, наведені Уховою Т.А. та Кривицькою І.Г. в роботі [3], встановили ефективність застосування комплексної добавки (суперпластифікатор + інтенсифікатор структуроутворення) в складі пористого бетону. Вивчення основних фізико-механічних властивостей пористого бетону неавтоклавного тверднення з комплексною добавкою на основі суперпластифікатора показало можливість виготовлення з цих бетонів дрібних блоків, за своїми основними показниками наближаються до аналогічних виробів з автоклавних ніздрюватих бетонів.

Дані лабораторних випробувань, зазначені Калашниковим В.І.,

Макридінім Н.І., Кузнецовим Ю.С. в роботі [71], дозволяють рекомендувати зниження норми витрати води в складі газобетонних сумішей з використанням суперпластифікатора С-3 на 35%.

Дослідженнями, виконаними під керівництвом професора Іванова І.А. в роботі [5], встановлено, що ефективність пластифікування в мінеральних дисперсних композиціях залежить від концентрації твердої фази. Максимальний ступінь пластифікування як за реологічними показниками, так і за скороченням води замішування проявляється саме в концентрованих суспензіях, якими є ніздрюватобетонні суміші. Висока дисперсність сировинних матеріалів пористого бетону дає можливість більш повного прояву властивостей пластифікуючих добавок в порівнянні з важкими бетонами, в яких пластифікуючий ефект підвищується при застосуванні дрібних пісків.

Дослідженнями Василика П. і Голубєва І. в роботі [6] встановлено, що:

- пластифікатори марок «К-5», «Релаксол», «Melment» руйнують структуру приготовленої піни;
- пластифікатор «Sika» структуру піни не руйнує, але і не забезпечує стійкості пінобетонної суміші, руйнуючи її;
- пластифікатори С-3, ЛСТ зменшують водоцементне відношення, частково забезпечуючи стійкість пінобетонної суміші, але готові вироби виходять з нерівномірною пухкою крупнопористою структурою і невисокою міцністю;
- кращий результат був отриманий із застосуванням гіперпластифікаторів марки «Melflux» (Melflux 2651F и Melflux 1641F). Вони дозволили отримати досить стійку піну (до 50 хв) і коефіцієнт використання піни дорівнює 0,95.

Кафедрою технології в'язучих матеріалів і бетонів МИКГиБ спільно з НДІ «Ресурсозберігаючі технології» був розроблений суперпластифікатор на основі лігносульфонатів «Вега». Випробування даної добавки в пінобетон показали, що її оптимальний вміст становить від 0,27 до 0,36%. Готовий пінобетон мав тонкодисперсну комірчасту структуру, не мав ознак просідання, при цьому витрата піноутворювача була скорочена до 150 г / м³.

Собкаловим П.Ф. та Бертовим В.М. була розроблена сировинна суміш для виготовлення конструктивного теплоізоляційного пінобетону на основі золи-виносу з B / T від 0,28 до 0,43 і з добавкою суперпластифікатора С-3 в кількості від 0,4 до 1,4% від маси всіх компонентів.

Местников А.Е., Кардашевський А.Г., Єгорова А.Д. розробили сировинну суміш для виготовлення теплоізоляційного ніздрюватого бетону неавтоклавної тверднення на основі горілої породи з $B / T = 0,79$ і з добавкою С-3 в кількості 0,2% масової частки компонентів.

Вплив пластифікуючих добавок нового покоління на основні фізико-механічних та теплофізичних властивостей пінобетонів в сучасній технічній літературі практично не розглядається, відповідно питання про можливість їх застосування в складі теплоізоляційного пінобетону дуже актуальне.

1.3. Мікрокремнезем як модифікатор пінобетону

В якості одного з компонентів (заповнювач) в пінобетонних сумішах може використовуватися мікрокремнезем. Завдяки своїм унікальним властивостям він може збільшити міцність при стиску в два і більше разів в порівнянні з немодифікованими пінобетонами.

Мікрокремнезем (МК) – це кремнезем техногенного походження, утворюється попутно в результаті конденсації з газової фази при виплавці кремнієвих сплавів (феросиліцію, силікохрома, силікомарганцю) і характеризується високим вмістом аморфного кремнезему з розвиненою питомою поверхнею, здатний активно взаємодіяти з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в ході гідратації цементу. Активність такої взаємодії істотно вища за активність природного кремнезему (трепелу, опоки, діатоміту та ін.). Хімічна активність мікрокремнезему в поєднанні з великою питомою поверхнею зробила його ефективним компонентом сучасних цементних бетонів.

Мікрокремнезем є відходом виробництва, тому виготовлення будматеріалів на основі мікрокремнезему пов'язано з утилізацією техногенного продукту.

Перші дослідження мікрокремнезему як мінеральної добавки для бетонів і розчинів були проведені в 40-х роках ХХ ст. Тоді ж було отримано патент на модифікацію цементних систем шляхом введення до їх складу мікрокремнезему. У період с 1951 по 1952 рр. професор Бернхардт провів експерименти із застосування мікрокремнезему в бетоні. У якості модифікуючої добавки в технології бетонів і розчинів він став широко застосовуватися на початку 60-х років.

Застосування мікрокремнезему дало можливість його утилізації без істотної втрати у властивостях бетону. Раніше в бетонні суміші з цією ж метою вводили доменні шлаки і золи-виносу ТЕЦ, які і до теперішнього часу є кремнеземвміщуючими промисловими відходами, найбільш широко використовуються в якості наповнювачів бетону. У порівнянні з ними мікрокремнезем характеризується великим вмістом SiO_2 і більшою дисперсністю.

В даний час мікрокремнезем є одним з основних компонентів так званих DSP-бетонів (Densified with Small Particles) бетонів, ущільнених мікрочастинками.

Дослідженнями мікрокремнезему в бетонах займалися Батраков В.Г., Капрієлов С.С., Шейнфельд А.В., Бриков А.С., Чучілін А.С., Марина Н.А., Філатова Т.В., Холін С. А., Зінов'єв А.А., Браун Г., Айлер Р. та ін.

Відомі склади неавтоклавного пінобетону з добавкою мікрокремнезему в кількості від 3 до 20% від маси всіх компонентів, при цьому В / Т становило від 0,55 до 0,8.

У світовій будівельній індустрії застосування мікрокремнезему сприяє отриманню:

– високоміцних бетонів (міцність при стиску досягає до 100 МПа, а при автоклавній обробці – до 240 МПа);

– бетонів підвищеної довговічності, що володіють стійкістю до сульфатної, хлоридної агресії, до слабких кислот, морської води, а також до низьких і високих температур. Добавка мікрокремнезему збільшує

водонепроникність до 50% (марка по водонепроникності бетону з добавкою мікрокремнезему до 20% від маси цементу складає W16), сульфатостійкість – до 100%; добавка 6% мікрокремнезему дозволяє отримати бетон з маркою по морозостійкості F300 при $B / Ц = 0,45$;

– бетонів з високою міцністю в ранньому віці (міцність при стиску в першу добу становить 63 МПа, через 28 діб – 124 МПа, через 1 рік – 127 МПа).

Введення мікрокремнезему збільшує міцність при стиску, морозостійкість, міцність зчеплення, зносостійкість і знижує проникність.

Частинки мікрокремнезему володіють гладкою поверхнею і сферичною формою. Середній розмір частинок становить від 0,1 до 0,2 мікрон, питома поверхня коливається від 13000 до 25000 м²/кг. У порівнянні з іншими в'язучими матеріалами, мікрокремнезем має низьку насипну щільність, високий вміст реактивного кремнезему і ультрадисперсність.

Агрегати мікрокремнезему добре сорбують радіоактивні нукліди і зменшують їх вилуговування з цементної матриці.

Матеріали на основі аморфного SiO₂ мають широке застосування в якості наповнювачів, адсорбентів, регуляторів реологічних властивостей.

Для підвищення дисперсності в бетони на основі мікрокремнезему вводять пластифікатор або суперпластифікатор. Мікрокремнезем в поєднанні з суперпластифікаторами застосовується в складі торкретбетону; його функція полягає в істотному підвищенні адгезії шару бетону, що наноситься, до оброблюваної поверхні. Застосування мікрокремнезему викликає також збільшення когезійної міцності, причому переважно для сумішей, що наносяться за «мокрим» способом (в порівнянні з контрольними зразками міцність при стиску через 28 діб зростає в 1,5 рази). Введення мікрокремнезему до складу торкретбетону знижує їх проникність в 20 разів, що дає значну перевагу їх застосування для відновлення армованих бетонних конструкцій в умовах дії агресивних середовищ.

У складі сухих будівельних сумішей мікрокремнезем збільшує водоутримуючу здатність композиції, клейкість (адгезію композиції до основи

у в'язкопластичному стані), міцність зчеплення з основою.

Мікрокремнезем додають в суміш як додаткову в'язучу речовину.

У різних країнах існує різна ринкова політика по відношенню до мікрокремнезему, і існують різні підходи до його використання. У США мікрокремнезем рекламується як високоякісний продукт, його застосування обмежується високою вартістю. У країнах Європи він більш популярний через низьку вартість і можливість отримання бетонів з високими конструкційними і експлуатаційними характеристиками.

У Норвегії середнє дозування мікрокремнезему для сумішей становить 8%.

Доведено, що мікрокремнезем впливає на лужність води в порах цементного гелю, знижуючи її до 12,5. Здатність бетону з мікрокремнеземом захищати сталеву арматуру не суттєво відрізняється в порівнянні з бетоном тієї ж міцності на портландцементі.

Питання застосування добавок пластифікаторів і мікрокремнезему, а також спільний їх вплив на фізико-механічні властивості теплоізоляційного пінобетону недостатньо вивчений і тому є досить актуальним.

Висновки до розділу 1

Аналіз літературних джерел показав, що питання модифікування теплоізоляційного пінобетону добавками пластифікаторів і мікрокремнезему приділяється недостатньо уваги. Тому дана тема є досить актуальною. Рішення її в кінцевому підсумку сприяє:

- поліпшенню якості готової продукції, що виражається в підвищенні її міцності без зміни теплопровідності;
- зменшення її собівартості за рахунок утилізації вторинних продуктів промислового виробництва.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Визначення фізико-механічних властивостей компонентів пінобетонної суміші

Одним з показників, що впливають на якість готового пінобетону, є використання якісної сировини, що відповідає всім вимогам відповідних стандартів і технічних умов. Тому при виробництві виробів з теплоізоляційного пінобетону слід особливо жорстко дотримуватися вимог до вихідних сировинних матеріалів.

В якості в'язучого компонента в складі пінобетону застосовувався цемент марки ПЦ І-500-Н ДСТУ Б В. 2.7-46:2010. Насипна щільність цементу становила 1210 кг/м³. Мінералогічний склад представлений в табл. 2.1, хімічний склад і фізичні властивості цементу представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.1

Мінералогічний склад цементу

| Найменування | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₃ AF |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Вміст, % за масою | 64 | 14 | 6 | 13 |

Таблиця 2.2

Хімічний склад та фізичні властивості цементу марки ПЦ І-500-Н

| Хімічний склад | | Фізичні властивості | |
|----------------------------------|-------------------|--|------|
| Найменування | Вміст, % за масою | Нормальна густота (НГ), % | |
| SiO ₂ | 20,37 | Границя міцності при згині, МПа, у віці: 3 доби 28 діб | 27,0 |
| Al ₂ O ₃ | 5,67 | | 4,4 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,90 | Границя міцності при стиску, МПа, у віці: 3 доби 28 діб | 5,9 |
| CaO | 60,42 | | 29,8 |
| MgO | 4,89 | Границя міцності при стиску, МПа, при пропарюванні в віці 1 доби | 49,0 |
| SO ₃ | 2,83 | | 36,9 |
| Втрати при прожарюванні (в.п.п.) | 1,56 | | |

У якості заповнювача в складі пінобетону застосовувався мікрокремнезем в сухому стані марки МК-85 ТУ 5743-048-02495332-96. Насипна щільність мікрокремнезему становила 250 кг/м³. Хімічний склад мікрокремнезему представлений в табл. 2.3, дисперсний (гранулометричний) склад – в табл. 2.4.

Таблиця 2.3

Хімічний склад мікрокремнезему

| Найменування | SiO ₂ | SiC | C _{вільн.} | Na ₂ SO ₄ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO |
|-------------------|------------------|-----|---------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| Вміст, % за масою | 87,0 | 4,5 | 3,0 | 0,8 | 1,6 | 1,0 | 1,6 | 0,5 |

Таблиця 2.4

Дисперсний (гранулометричний) склад

| Діаметр часток, мкм | 0...1 | 1...3 | 3...5 | 5...10 | 10...20 | >20 |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|-----|
| Ваговий вміст фракцій, % | 54 | 5 | 3 | 4 | 10 | 24 |

Проведені дослідження встановили наявність в даному мікрокремнеземі фулеренів, в кількості приблизно 0,1% по масі в пилу, знятому з фільтрів, і близько 1% – в шлам. Вміст вуглецю у вигляді сажі в складі бетону небажаний, так як це негативно впливає на міцність. Але така алотропічна модифікація вуглецю, як фулерен, можливо, є каталізатором процесу гідратації.

У якості піноутворювачів були розглянуті синтетичний піноутворювач на основі силіконів «Пента Пав 430А», синтетичні піноутворювачі «Біофоам С», «Макспен» і протеїнові піноутворювачі «Омпор», «Біофоам В».

Піноутворювач надає подвійну дію на якість пінобетону. З одного боку він сприяє формуванню пористої структури пінобетону і забезпечує йому задану середню щільність, з іншого – введення піноутворювача призводить до уповільнення процесів тужавіння і тверднення в'язучої речовини, часткової деструкції цементної системи, зменшення міцності кінцевого продукту. Тому при виробництві пінобетону виникає завдання правильного вибору типу піноутворювача і визначення його оптимальної концентрації [7].

Внаслідок цього, для кожного піноутворювача були визначені наступні

показники: кратність, стійкість у часі, коефіцієнт використання піни з різною концентрацією їх водного розчину.

З метою виявлення піноутворювача з найменшим деструктивним впливом на цементну систему також було оцінено їх вплив на рухливість, терміни тужавіння (початок і кінець) цементного тіста з різним відсотковим вмістом даних піноутворювачів і міцністю цементного каменю. Всі випробування проводилися за стандартною методикою згідно ДСТУ 3789-98 «Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань», ДСТУ Б В.2.7-82: 2010 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови», ДСТУ Б В.2.7-185:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму», ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск», ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності по контрольних зразках».

Визначення кратності і стійкості в часі піни різної концентрації водного розчину піноутворювача здійснювалося згідно ДСТУ 3789-98 «Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань».

Кратність піни Kp_n – це відношення отриманого після спінювання об'єму піни V_n , до об'єму водного розчину піноутворювача V_n^p , витраченого на її отримання.

$$Kp_n = \frac{V_n}{V_n^p} \quad (2.1)$$

Стійкість у часі або стійкість піни – це час її існування без втрати своїх первинних властивостей. Стійкість піни оцінюється часом руйнування 50% її об'єму або часом витікання 50% рідини.

За коефіцієнтом використання піни встановлюють сумісність піни з тверднучим розчином і визначають необхідний об'єм піни в пінобетонній

суміші.

Для визначення коефіцієнта використання піни необхідно змішувати протягом однієї хвилини один літр цементного розчину з $V / Ц = 0,4$ і один літр піни з певною концентрацією водного розчину піноутворювача. Далі вимірюють отриманий об'єм піномаси і ділять його на два. Отримане число і є коефіцієнт використання піни (K_{en}).

Піна вважається задовільною, якщо значення K_{en} знаходиться в діапазоні від 0,8 до 0,85, а якісною – якщо значення дорівнює або більше 0,95.

Чим вище кратність і коефіцієнт стійкості піни в розчині, тим менший об'єм піни і піноутворювача необхідний для отримання пінобетону необхідної щільності.

Рухливість і терміни тужавлення цементного тіста з добавками піноутворювачів визначалися відповідно до ДСТУ Б В.2.7-82:2010 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови», ДСТУ Б В.2.7-185:2009 «Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та різномірності зміни об'єму». Оскільки за допомогою наявних приладів, таких як, прилад Віка і «конус СтройЦНИЛ», неможливо було оцінити вплив піноутворювачів різної природи і різної концентрації на рухливість цементного тіста з водотвердим відношенням рівним нормальній густоті (жорсткі суміші), був розроблений і запатентований прилад для визначення рухливості цементного тіста з добавками піноутворювачів.

Цементне тісто без добавок і з добавками піноутворювачів в кількості від 0,1 до 0,8% від маси цементу готувалося вручну відповідно до ДСТУ Б В.2.7-185:2009 «Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та різномірності зміни об'єму». Терміни тужавіння визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-185:2009.

Міцність при стиску зразків розміром $40 \times 40 \times 160$ мм у віці 28 діб без добавок і з добавками різної кількості піноутворювачів визначалася відповідно до ДСТУ Б В.2.7-187:2009 «Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск».

Зразки пінобетону розміром 100×100×100 мм готувалися за класичною схемою (цементний розчин і піна готувалися окремо, потім разом перемішувалися протягом однієї хвилини), витримувалися 28 діб в камері нормального тверднення, висушувалися до постійної маси при температурі 100±5°C і випробовувалися на стиск відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками».

У якості затворювача використовувалася технічна вода, яка задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.7-273:2011 «Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови (ГОСТ 23732-79, MOD)». Для приготування пінобетонної суміші використовується водопровідна питна, а також будь-яка вода, що має водневий показник рН не менше 4. Вміст солей не повинно перевищувати 5000 мг/л, в тому числі сульфатів не більше 2700 мг / л.

У якості пластифікуючих добавок застосовувалися:

- комплексна добавка (нафталінформальдегідний суперпластифікатор + прискорювач тверднення) «Реламікс-М», у вигляді сухого порошку;
- гіперпластифікатор на основі полікарбоксилатів «МС-Power-Flow-3100 », у вигляді рідини щільністю 1,09 г/см³;
- гіперпластифікатор на основі полікарбоксилатного ефіру «GLENIUM SKY 591 », у вигляді рідини щільністю 1,07 г / см³.

Для пластифікуючих добавок були визначені водоредукуючі коефіцієнти при різному вмісті добавки і коефіцієнти використання піни в цементному розчині з пластифікаторами.

Методика визначення коефіцієнта водоредукування складається з наступних етапів:

- визначаються рухливості цементних розчинів з В / Ц = 0,4 і з різним процентним вмістом пластифікуючої добавки;
- визначаються рухливості цементних розчинів без пластифікуючих добавок при різному В / Ц
- вибираються дані при однакових діаметрах розпливання за Суттардом;

– водоредукуючих коефіцієнт розраховується за формулою:

$$k = \frac{(B/C)_{\delta.d.} - (B/C)_{\delta}}{(B/C)_{\delta.d.}}, \quad (2.2)$$

де $(B/C)_{\delta.d.}$ – водоцементне відношення без пластифікуючої добавки;

$(B/C)_{\delta}$ – водоцементне відношення з вмістом певної кількості пластифікуючої добавки.

Для того щоб оцінити вплив пластифікаторів нового покоління на стійкість піни був визначений коефіцієнт використання піни в цементному розчині з добавками пластифікаторів (K_{en}), аналогічно тому, як і для піноутворювачів.

2.2. Методика підбору складу пінобетону

Проектування складу – один з найважливіших етапів у виробництві пінобетону. Від того, наскільки правильно підібраний його склад, залежать такі властивості, як міцність при стиску, вологість, теплопровідність.

Проектування складу пінобетону крім вибору матеріалів включає:

- розрахунок складу пінобетону з урахуванням якості матеріалів і запланованої технології;
- визначення вимог до технології, при яких гарантується здобуття пінобетону необхідних властивостей;
- перевірку і коригування обраного складу шляхом виготовлення пробних замісів;
- контроль якості пінобетону і оцінку надійності технології;
- проведення техніко-економічних розрахунків.

Вивчення теоретичних основ і практичних можливостей отримання готових виробів зі строго заданою середньою щільністю має першорядне значення для вибору оптимальної технології виробництва пористих матеріалів.

Вага виробів з пінобетону складається з ваги вихідних сухих компонентів і зв'язаної води (вагою газу, що утворює пори, зневажають). Основними

факторами, що визначають задану середню щільність матеріалу, є пори, утворені піною.

Запропоновано спосіб проектування складу пінобетонної суміші, заснований на точному дотриманні фізичної закономірності упаковки зерен вихідних матеріалів в складній системі пінобетону з урахуванням заповнення міжзернового простору піною.

Суть методу підбору складів пінобетонних сумішей полягає у визначенні об'єму складових компонентів пінобетонної суміші – цементу, заповнювача з урахуванням насипної щільності (ρ_n), води і піни розрахунковим шляхом.

Розроблений спосіб проектування складу пінобетонної суміші проводиться в такій послідовності:

1) загальна витрата сухих матеріалів, $P_{\text{сух}}$, кг, на 1 м³ пінобетону визначається за формулою:

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_c}{K_c}, \quad (2.3)$$

де ρ_c – задана середня щільність пінобетону, висушеного до постійної маси, кг/м³;

K_c – коефіцієнт збільшення маси в результаті тверднення за рахунок зв'язаної води. Для попередніх розрахунків приймають рівним 1,1;

2) витрата заповнювача, P_z , кг, на 1 м³ пінобетону визначається за формулою:

$$P_z = P_{\text{сух}} \cdot Z, \quad (2.4)$$

де $P_{\text{сух}}$ – витрата матеріалів на 1 м³ пінобетону, кг;

Z – частка заповнювача в загальній витраті матеріалів;

3) витрата цементу, P_u , кг, на 1 м³ пінобетону визначається за формулою:

$$P_u = P_{\text{сух}} \cdot P_z, \quad (2.5)$$

де $P_{\text{сух}}$ – витрата матеріалів на 1 м³ пінобетону, кг;

P_z – витрата заповнювача на 1 м³ пінобетону, кг;

4) витрата води в розчині цемент + заповнювач, P^p , л, на 1 м^3 пінобетону визначається за формулою:

$$P^p = P_{\text{сух}} \cdot \frac{B}{T}, \quad (2.6)$$

де $P_{\text{сух}}$ – загальна витрата цементу і заповнювача на 1 м^3 пінобетону, кг;
 T – водотверде відношення;

5) об'єм цементу, V_u , м^3 , на 1 м^3 пінобетону визначається за формулою:

$$V_u = \frac{P_u}{\rho_u^u \cdot K_y^u}, \quad (2.7)$$

де P_u – витрата цементу на 1 м^3 пінобетону, кг;

ρ_u^u – насипна щільність цементу, $\text{кг} / \text{м}^3$;

K_y^u – коефіцієнт зменшення об'єму цементу при додаванні води, визначається дослідним шляхом для кожного B / T ;

б) об'єм сухого заповнювача, V_z , м^3 , на 1 м^3 пінобетону визначається за формулою:

$$V_z = \frac{P_z}{\rho_z^u \cdot K_y^u}, \quad (2.8)$$

де P_z – витрата заповнювача на 1 м^3 пінобетону, кг;

ρ_z^u – насипна щільність з заповнювач, $\text{кг} / \text{м}^3$;

K_y^u – коефіцієнт зменшення об'єму заповнювача при додаванні води, визначається дослідним шляхом для кожного B / T ;

7) загальний об'єм сухих компонентів (заповнювача і цементу), $V_{\text{сух}}$, м^3 , на 1 м^3 пінобетону визначається за формулою:

$$V_{\text{сух}} = V_z + V_u, \quad (2.9)$$

де V_z – об'єм заповнювача на 1 м^3 пінобетону, м^3 ;

V_u – об'єм цементу на 1 м^3 пінобетону, м^3 ;

8) концентрація водного розчину піноутворювача, K , %, визначається за формулою:

$$K = \frac{P_{no}^{n(k)}}{P_{no}^{n(k)} + P_{\epsilon}^{n(k)}} \cdot 100\% , \quad (2.10)$$

де $P_{no}^{n(k)}$ – витрата піноутворювача для приготування піни оптимальної концентрації, л;

$P_{\epsilon}^{n(k)}$ – витрати води для приготування піни оптимальної концентрації, л;

9) об'єм піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача, $V_n^{(k)}$, м³ визначають дослідним шляхом, а, знаючи кратність піни з певною концентрацією водного розчину піноутворювача, визначають за формулою:

$$V_n^{(k)} = Kp_n^{(k)} \cdot (P_{no}^{n(k)} + P_{\epsilon}^{n(k)}), \quad (2.11)$$

де $P_{no}^{n(k)}$ – витрати води для приготування піни оптимальної концентрації, л;

$P_{\epsilon}^{n(k)}$ – витрата піноутворювача для приготування піни оптимальної концентрації, л;

$Kp_n^{(k)}$ – кратність піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача;

10) кратність піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача, $Kp_n^{(k)}$ визначають дослідним шляхом за формулою:

$$Kp_n^{(k)} = \frac{V_n^{(k)}}{(P_{no}^{n(k)} + P_{\epsilon}^{n(k)})}, \quad (2.12)$$

де $V_n^{(k)}$ – об'єм піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача, м³;

$P_{no}^{n(k)}$ – витрата піноутворювача для приготування піни оптимальної концентрації, л;

$P_{\epsilon}^{n(k)}$ – витрати води для приготування піни оптимальної концентрації, л;

11) об'єм піни, V_n , м³, на 1 м³ пінобетону визначається за формулою:

$$V_n = \frac{1 - V_{cyx}}{K_{un}^{(\kappa)}}, \quad (2.13)$$

де V_{cyx} – загальний об'єм цементу і заповнювача на 1 м^3 пінобетону, м^3 ;

$K_{un}^{(\kappa)}$ – коефіцієнт використання піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача (або інакше коефіцієнт стійкості піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача в цементному розчині); визначають шляхом змішування протягом 1 хв. 1 літра цементного тіста ($B / Ц = 0,4$) і 1 літра піни, з подальшим виміром отриманого об'єму поризованного тіста (піномаси). Об'єм отриманої піномаси ділять на 2 і отримують коефіцієнт використання піни (або коефіцієнт стійкості піни).

12) витрата піноутворювача для приготування піни необхідного об'єму, P_{no} , л, на 1 м^3 пінобетону визначають за формулою:

$$P_{no} = \frac{P_{no} \cdot V_n}{V_n^{(\kappa)}}, \quad (2.14)$$

де V_n – об'єм піни на 1 м^3 пінобетону, м^3 ;

$V_n^{(\kappa)}$ – об'єм піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача, м^3 ;

$P_{no}^{(\kappa)}$ – витрата піноутворювача для приготування піни оптимальної концентрації, л;

13) витрата води в піні необхідного обсягу P_{ϵ}^n , л, на 1 м^3 пінобетону визначають за формулою:

$$P_{\epsilon}^n = \frac{P_{\epsilon}^{n(k)} \cdot V_n}{V_n^{(\kappa)}}, \quad (2.15)$$

де $P_{\epsilon}^{n(k)}$ – витрата води в піні з певною концентрацією водного розчину піноутворювача, л;

V_n – об'єм піни на 1 м^3 пінобетону, м^3 ;

$V_n^{(\kappa)}$ – об'єм піни з оптимальною концентрацією водного розчину піноутворювача, м;

14) загальна витрата води, P_{ϵ}^o , л, на 1 м^3 пінобетону визначається за формулою:

$$P_{\epsilon}^o = P_{\epsilon}^p + P_{\epsilon}^n, \quad (2.26)$$

де P_{ϵ}^p – витрата води в розчині (цемент + заповнювач), л;

P_{ϵ}^n – витрата води в піні (для приготування піни), л.

2.3. Визначення фізико-механічних характеристик пінобетону

Міцність при стиску зразків теплоізоляційного пінобетону модифікованого добавками проводилася за стандартною методикою згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» на гідравлічному пресі типу ИП 6010-100-1 (технічні характеристики дані в табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Технічні характеристики ИП 6010-100-1

| | |
|---|--|
| Найбільше граничне навантаження, кН | 100 |
| Діапазон вимірювання навантаження, кН | Від 2 до 100 – основний Від 1 до 2 – додатковий |
| Діапазон захисту, кН | Від 1 до 10 Від 2 до 20 Від 5 до 50 Від 10 до 100 |
| Ціна одиниці найменшого розряду цифрового індикатора навантаження, кН | 0,01 |
| Діапазон швидкостей навантаження, кН / с | Від 0,25 до 25 |
| Швидкість переміщення, мм / хв. | 600 |
| Хід поршня, мм | 100 |
| Розміри опорних плит, мм | 210×210 |
| Висота робочого простору, мм | 300 |
| Ширина робочого простору, мм | 230 |
| Споживана потужність, кВт | 1,1 |
| Габаритні розміри, мм | 1010×605×1305 |
| Маса, кг | 340 |
| Установчий хід поршня, мм | 150 |

Вологість зразків оцінювалася відповідно до ДСТУ Б В.2.7-170:2008 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої щільності, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності» за допомогою шафи сушильної електричної типу 2В-151 (технічні характеристики дані в табл. 2.6) і вагів настільних типу НВ-1500 (технічні характеристики дані в табл. 2.7).

Таблиця 2.6

Технічні характеристики шафи сушильної електричної

| | |
|--|-----------------|
| Діапазон регульованих температур, °С | Від +40 до +200 |
| Точність підтримки температури, °С | ±1 |
| Допустимі відхилення температури в різних місцях камери від температури в центральній зоні, °С | ±7 |
| Споживана потужність, Вт | 500±10 % |
| Час розігріву до 200°С при температурі навколишнього середовища 20°С ± 3°С, хв. | 95 |
| Розміри робочої камери, мм: діаметр довжина | 358 270 |
| Габаритні розміри, мм: довжина | 385 |
| ширина | 472 |
| висота | 605 |
| Маса, кг | 28±2 |

Таблиця 2.7

Технічні характеристики вагів настільних

| | |
|---|--------------------|
| Найменша границя зважування, г | 10 |
| Найбільша границя зважування, г | 1500 |
| Ціна повірочної поділки, г | 0,5 |
| Границі допустимої похибки, г в інтервалах зважування, г: Від 10 до 250 Понад 250 до 1000 Понад 1000 до 1500 | ±0,5 ±1 ±1,5 |
| Дискретність відліку, г | 0,5 |
| Область нормальних значень температур, °С | Від 0 до +40 |
| Область нормальних значень вологості, % | Від 30 до 80 |
| Поріг чутливості, г | 0,7 |
| Споживана потужність, Вт | 4 |
| Габаритні розміри платформи, мм: довжина ширина | 155 155 |
| Габаритні розміри вагів, мм: довжина ширина висота | 175 235 75 |
| Маса, кг | 0,8 |

Таблиця 2.8

Технічні характеристики вимірювача теплопровідності

| | |
|---|--|
| Діапазон виміру коефіцієнта теплопровідності, Вт/(м·К) | Від 0,03 до 1,0 |
| Допустима похибка визначення коефіцієнта теплопровідності, % | Основна ± 7 Додаткова $\pm 0,5$ на кожні 10°C |
| Допустима глибина занурення зонда, мм | Від 60 до 180 |
| Розмір досліджуваного зразка, мм | 100×100×100 |
| Споживана потужність, мА | 150 |
| Габарити приладу, мм: блока електронного теплового зонда мережевого блока живлення | 175×90×30 05×240 90×70×50 |
| Маса, кг | 0,5 |

Теплопровідність зразків вимірювалася у висушеному стані відповідно до ДСТУ Б В.2.7-105-2000 (ГОСТ 7076-99) «Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі» за допомогою вимірника теплопровідності типу ИТП-МГ4 «Зонд» (технічні характеристики дані в табл. 2.8, сам прилад зображений на рис. 2.1).



Рис. 2.1. Загальний вид приладу ИТП-МГ 4 «Зонд»

Аналіз РФА досліджуваних зразків пінобетону проводився на рентгенівському дифрактометрі XRD-7000, зображеному на рис. 2.2. Технічні характеристики наведені в табл. 2.9.

Рентгенівська дифрактометрія дозволяє неруйнівним методом здійснювати:

- контроль фазового складу речовини;
- визначення метрик кристалічної решітки;
- виявлення різних типів дефектів;
- аналіз напруженого і текстурованого стану;
- дослідження атомної структури.



Рис. 2.2. Рентгенівський дифрактометр XRD-7000

Таблиця 2.9

Технічні характеристики XRD-700

| Трубка рентгенівська | |
|--|---|
| Матеріал анода | Cu, Co, Fe, Cr |
| Розміри фокуса та максимальна потужність | 1,0×10,0 мм; максимальна потужність 2,0 кВт 0,4×12,0 мм; максимальна потужність 2,2 кВт 2,0×12,0 мм; максимальна потужність 2,7 кВт |
| Генератор рентгенівський | |
| Потужність максимальна | 3 кВт |
| Напруження максимальне | 60 кВ |
| Струм максимальний | 80 мА |
| Захист трубки | Захист від перевищення потужності, перевантажень по струму і напрузі, перебоїв водопостачання |
| Механізми захисту | Механізм блокування дверей, аварійний стоп |
| Гоніометр | |
| Тип | Вертикальний (0-0) |
| Радіус гоніометра | 275 мм стандартний (може змінюватися від 200 до 275 мм) |
| Розмір зразка (Ш×Д×В) максимальний | 400×550×400 мм |
| Автосамплер | 5 позицій (опція) |
| Шаг сканування мінімальний | 0,0001 градуса (0) |
| Режими роботи | Безперервне сканування, покрокове сканування, калібрування, позиціонування, осциляція по осі тета |
| Швидкість сканування | 0,1~50 градусів/хв (θ_s, θ_d), 0,1~100 градусів/хв (2θ) |
| Детектор/лічильник | |
| Лічильник сцинтиляційний | Сцинтилятор NaI, кількість каналів: 1 |
| OneSight (опція) | Високошвидкісний ширококутний детектор, кількість каналів: 1280 |
| Зовнішній корпус | |
| Розміри (Ш×Д×В) | 900×700×1600 мм |
| Радіаційний фон | Менш 1 m Sv /год. при максимальній потужності, дефрактometr поставляється з санітарно-епідеміологічним висновком |

Зйомка мікрофотографій проводилася за допомогою растрового електронного мікроскопа JIB-4500 JEOL (виробництва Японії), представленого

на рис. 2.3. Технічні характеристики наведені в табл. 2.10.



Рис. 2.3. JIB-4500 – двопроменева (іонно-електронна) система з термоемісійним джерелом електронів LaB6

Таблиця 2.10

Технічні характеристики JIB-4500

| Характеристика | Значення |
|--|---|
| Сфокусований іонний пучок (СИП) | |
| Джерело іонів | Га-джерело, 5-30 кВ, 30 нА (при 30 кВ) |
| Збільшення | ×30, ×100...×300,000 |
| Розширення | 5 нм (при 30 кВ) |
| Растровий електронний мікроскоп (РЭМ) | |
| Джерело електронів | LaB6, 0,3-30 кВ, 1 мкА |
| Збільшення | ×5...×1,000,000 |
| Розширення | 2,5 нм (30 кВ) |
| Столик зразків | гоніометричний (X: 76 мм, Y: 76 мм, Z: 5-48 мм) |

Обробка результатів здійснювалася за допомогою комп'ютерної програми

для апроксимації експериментальних даних Microsoft Excel.

Апроксимація двохфакторного експерименту проводиться за двома чинниками в трьох точках. Варіація двох змінних проводиться за трьома значеннями: мінімального, середнього і максимального.

Кожний дослід дає поєднання чинників з двох змінних по трьом точкам. При кожному експерименті проводиться три досліді.

У кожному досліді цільова функція задається в трьох значеннях, автоматично визначається похибка експерименту за критерієм Стюдента, подальший розрахунок проводиться автоматично. Апроксимація проводиться за поліноміальним типом.

Спочатку проводиться розрахунок коефіцієнтів регресії і вільного члена.

За складеним рівнянням регресії проводиться розрахунок апроксимованих значень і оцінка адекватності моделі за критерієм Фішера.

Програма будує поверхню за апроксимованими даними і робить зрізи по першому і другому змінному фактору.

Висновки до розділу 2

В ході випробувань були використані:

– прилад для визначення рухливості цементного тіста з добавками піноутворювачів дозволяє визначити рухливість цементного тіста з різними відсотковим вмістом піноутворювача, а також при водоцементному відношенні більшому, ніж нормальна густина;

– методика підбору складу пінобетонних сумішей, що дозволяє визначити: необхідну кількість цементу і заповнювача з урахуванням їх насипних щільностей, а також піни, води і піноутворювача на 1 м³ пінобетону різної середньої щільності розрахунковим шляхом.

РОЗДІЛ 3
КОМПОНЕНТИ СУМІШІ: ПІНОУТВОРЮВАЧ, ПЛАСТИФІКАТОРИ
НОВОГО ПОКОЛІННЯ
У ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПІНОБЕТОНАХ

3.1. Характеристики пін: кратність, стійкість у часі, коефіцієнт використання

При визначенні основних характеристик пін були отримані наступні результати, зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Фізико-механічні характеристики пін в залежності від концентрації
водного розчину піноутворювача

| Найменування піноутворювача | Концентрація водного розчину піноутворювача | Кратність піни | Стійкість піни у часі, хв | Коефіцієнт використання піни |
|-----------------------------|---|----------------|---------------------------|------------------------------|
| «Пента Пав 430А» | 1% | 12,5 | 20 | 0,95 |
| | 2,5% | 15 | 18 | |
| | 5% | 22,5 | 16 | |
| | 10% | 29 | 16 | |
| «Омпор» | 1% | 3,8 | 3 | 0,95 |
| | 2,5% | 6,25 | 30 | |
| | 5% | 8,75 | 60 | |
| | 10% | 8,125 | 105 | |
| «Біофоам С» | 1% | 18,5 | 15 | 0,95 |
| | 2,5% | 30 | 23 | |
| | 5% | 34,5 | 22 | |
| | 10% | 37,5 | 20 | |
| «Біофоам В» | 1% | 7,25 | 6 | 0,95 |
| | 2,5% | 8,5 | 13 | |
| | 5% | 10 | 120 | |
| | 10% | 3,8 | 150 | |
| «Макспен» | 1% | 24 | 18 | 0,95 |
| | 2,5% | 30 | 19 | |
| | 5% | 34 | 22 | |
| | 10% | 52,5 | 16 | |

Для подальших досліджень були відібрані два піноутворювача: синтетичний – «Пента Пав 430А» та протеїновий – «Омпор».

3.2. Характеристики цементного тіста з добавками піноутворювачів: рухливість, терміни тужавіння

Вплив піноутворювачів «Пента Пав 430А» та «Омпор» на рухливість цементного тіста показано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Рухливість і терміни тужавіння цементного тіста з добавками піноутворювачів

| Кількість піноутворювача в цементному тісті, % від маси цементу | «Пента Пав 430А» | | | «Омпор» | | |
|---|---------------------------------|------------------------|--------|---------------------------------|------------------------|--------|
| | Рухливість цементного тіста, см | Терміни тужавіння, хв. | | Рухливість цементного тіста, см | Терміни тужавіння, хв. | |
| | | початок | кінець | | початок | кінець |
| 0 | 14,3 | 200 | 275 | 14,3 | 200 | 275 |
| 0,1 | 13,8 | 220 | 294 | 15,9 | 185 | 270 |
| 0,2 | 13,5 | 232 | 300 | 16,1 | 180 | 266 |
| 0,3 | 13,0 | 238 | 302 | 16,3 | 177 | 260 |
| 0,4 | 12,5 | 243 | 305 | 16,8 | 175 | 250 |
| 0,5 | 12,3 | 245 | 310 | 17,0 | 173 | 243 |
| 0,6 | 12,1 | 252 | 312 | 17,4 | 169 | 238 |
| 0,7 | 11,9 | 255 | 315 | 17,6 | 167 | 232 |
| 0,8 | 11,6 | 262 | 319 | 18,0 | 165 | 225 |

3.3. Міцність при стиску цементної матриці з добавками піноутворювачів

Дослідження міцності спіненої цементної матриці займалися Рой, Гауда [8], Кірслі, Вейнрайт [9], Намбіар, Рамамурті [10], Хархардіна А.Н. [11]. І всі автори стверджують, що міцність спіненого тіла залежить від міцності щільного. Міцність пінобетону R_b в залежності від пористості n і міцності

щільної матриці R_m можна виразити формулою, запропонованою Ченом, Ву і Жоу в роботі [12]:

$$R_b = R_m (-n)^b, \quad (3.1)$$

де b – емпіричний показник.

Таблиця 3.3

Міцність при стиску цементної матриці з добавками піноутворювачів

| Кількість піноутворювача в цементному тісті, % від маси цементу | с добавкой «Пента Пав 430А» | | з добавкою «Омпор» | |
|---|--|----------------------------------|---|------------------------------------|
| | Середня щільність зразків, кг/м ³ | Міцність при стиску зразків, МПа | Середня щільність образцов, кг/м ³ | Прочність при сжатии образцов, МПа |
| 0 | 1915 | 77,6 | 1915 | 77,6 |
| 0,1 | 1838 | 68,9 | 1852 | 75,1 |
| 0,2 | 1792 | 68,3 | 1872 | 71,8 |
| 0,3 | 1756 | 64,8 | 1849 | 70,4 |
| 0,4 | 1806 | 63,2 | 1860 | 69,9 |
| 0,5 | 1806 | 60,6 | 1808 | 68,5 |
| 0,6 | 1694 | 57,4 | 1805 | 67,6 |
| 0,7 | 1779 | 55,1 | 1808 | 67,1 |
| 0,8 | 1804 | 53,1 | 1816 | 66,1 |

Розглядаючи взаємозв'язок вмісту піноутворювача з міцністю щільної матриці, можна прогнозувати міцність пінобетону.

Згідно з даними табл. 3.3 можна вивести таку закономірність:

$$R_m = R_o - k \cdot c, \quad (3.2)$$

де R_o – міцність матриці при нульовій концентрації піноутворювача, МПа;

k – коефіцієнт зниження міцності, залежить від виду піноутворювача, для

«Омпор» $k = 1,83$, для «Пента Пав 430А» $k = 3,23$;

c – кількість піноутворювача в цементному тісті, % від маси цементу.

Підставивши значення міцності матриці в формулу 3.1 і з урахуванням

того, що $n = 1 - \frac{\rho_m}{\rho}$, в результаті виходить формула:

$$R_b = (R_o - k \cdot c) \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right)^b, \quad (3.3)$$

де b залежить від середньої щільності пінобетону і знаходиться в границях від 3 для D400 та до 4,5 для D900;

ρ_m – середня щільність пінобетону, кг/м^3 ;

ρ – щільність невспіненої матриці, кг/м^3 .

Таблиця 3.4

Характеристики пінобетону в залежності від піноутворювача

| «Пента Пав 430А» | | | «Омпор» | | |
|---|-------------------------------------|--|---|-------------------------------------|--|
| Середня щільність пінобетону, кг/м^3 | Міцність при стиску пінобетону, МПа | Теплопровідність, $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ | Середня щільність пінобетону, кг/м^3 | Міцність при стиску пінобетону, МПа | Теплопровідність, $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ |
| 410 | 0,77 | 0,101 | 410 | 1,69 | 0,112 |
| 475 | 1,1 | 0,114 | 475 | 2,22 | 0,124 |
| 600 | 0,83 | 0,148 | 600 | 3,46 | 0,141 |
| 850 | 2,7 | 0,171 | 850 | 7,05 | 0,169 |

Для подальших досліджень було обрано синтетичний піноутворювач «Пента Пав 430А», тому що кратність піноутворювача повинна бути не менше 10, оскільки, по-перше, чим вище кратність тим меншу його кількість потрібно для виготовлення пінобетону необхідної марки за середньою щільністю, а, відповідно і менше негативний вплив піноутворювача на гідратацію в'язучої речовини. По-друге, при однаковому В / Ц більша кількість води в розчині (цемент + вода) буде міститися при використанні синтетичного

піноутворювача, а при застосуванні протеїнового піноутворювача більша кількість води піде на виготовлення піни. Як відомо, велика кількість води в розчині згодом негативно позначається на міцності готового бетону.

3.4. Водоредукуючий ефект

Для пластифікуючих добавок були визначені водоредукуючі ефекти, зображені на рис. 3.1.

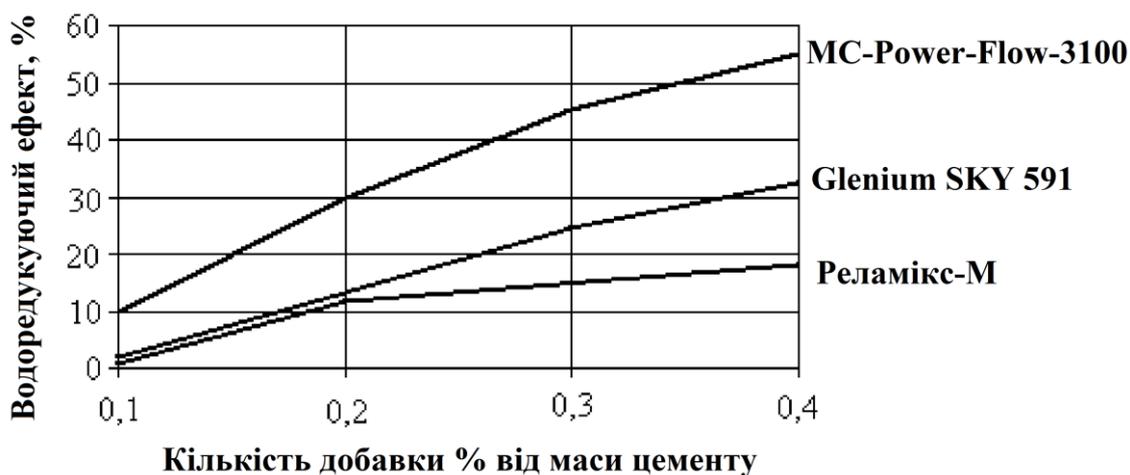


Рис. 3.1. Водоредукуючий ефекти пластифікуючих добавок

3.5. Коефіцієнт використання піни з добавками пластифікаторів

Для оцінки впливу пластифікаторів на піноцементний розчин визначалися коефіцієнти використання піни. Результати досліджень представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Коефіцієнт використання піни в цементному розчині з добавками пластифікаторів (рухливість розчину за Суттардом 25 см)

| Назва пластифікуючої добавки | Квп |
|------------------------------|------|
| «Реламікс-М» | 0,95 |
| «MC-Power-Flow-3100» | 0,94 |
| «GLENIUM SKY 591» | 0,87 |

3.6. Фізико-хімічний механізм взаємодії цементного розчину і пластифікатору

Відповідно до рис. 3.2, пінобетонна суміш з добавками пластифікаторів є трифазною системою, що складається з твердої, рідкої і газоподібної компонент.

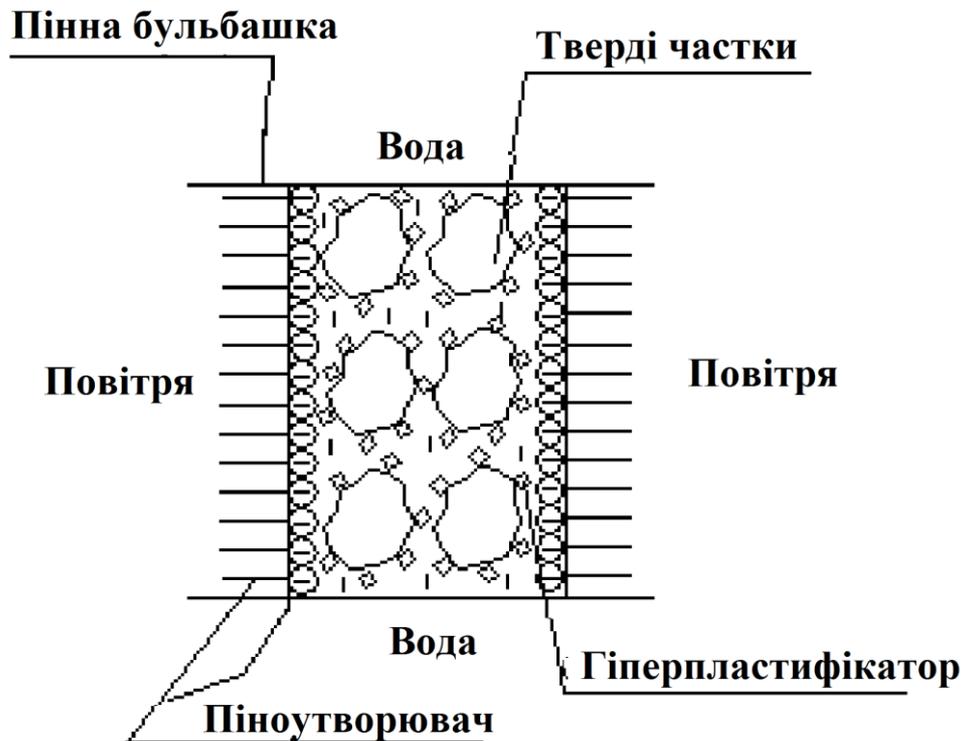


Рис. 3.2. Трифазна система «газ-рідина-тверде тіло» з піноутворювачем і гіперпластифікатором

Розглядаючи її як дисперсну систему можна сказати, що стійкість пінобетонної суміші визначається властивостями дисперсної фази, зокрема розмірами частинок дисперсійного середовища, її агрегатного стану і є прямим наслідком наявності кордону фаз і надлишку поверхневої енергії на цій границі.

Особливості стійкості дисперсних систем схематично зображені на рис. 3.3.

З точки зору колоїдної хімії цементний розчин відноситься до нестійких ліофобних систем. Можливість штучного збереження його стійкості визначається теорією ДЛФО (скорочено за першими літерами прізвищ авторів Б.В. Дерягін, Л.Д. Ландау, Е. Фервей та Дж. Овербек).

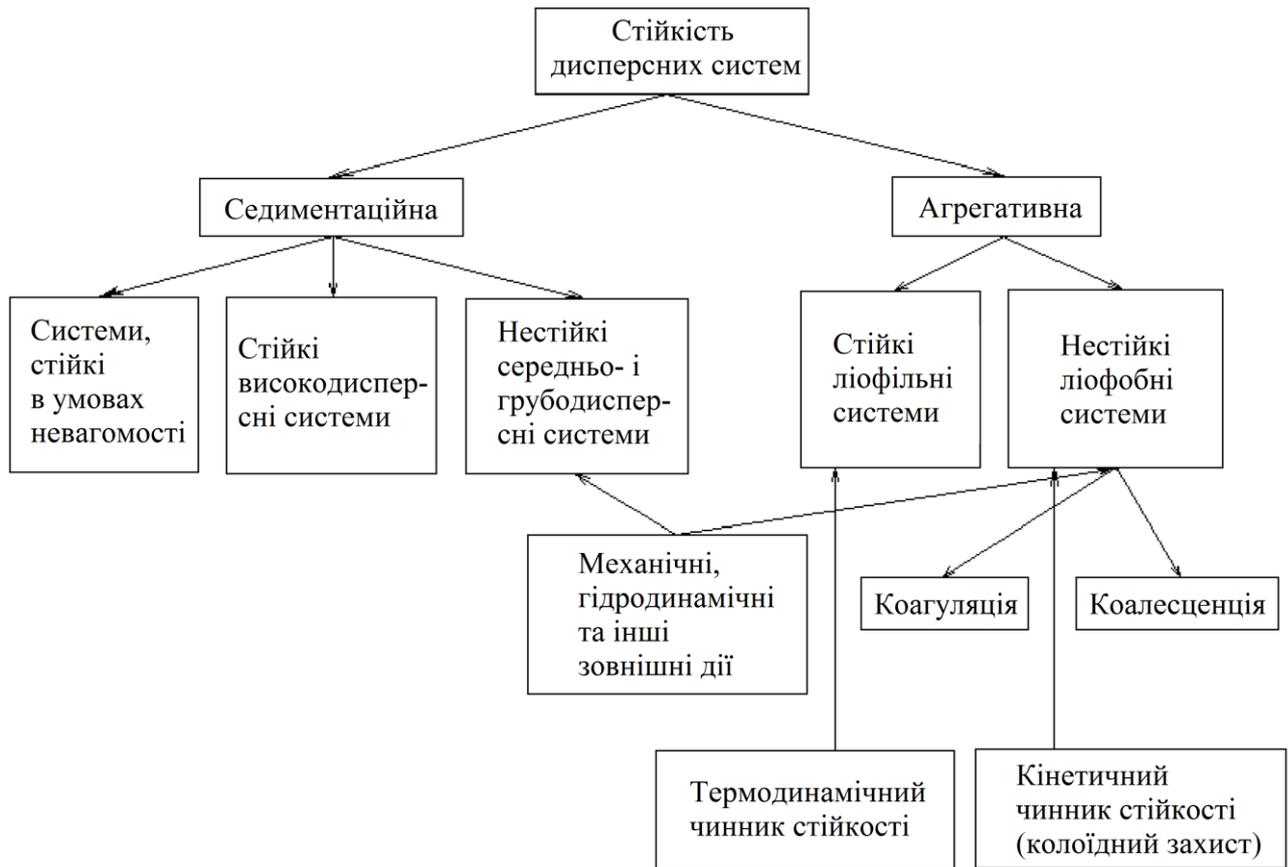


Рис. 3.3. Характеристика стійкості дисперсних систем

Агрегативна стійкість виражається в здатності дисперсних систем протистояти злипанню твердих частинок. Злиплі частки змінюють структуру дисперсної фази, і згодом осідають або спливають, як показано на рис. 3.4, а. У пінах агрегативна стійкість пов'язана з коалесценцією, зображеною на рис. 3.4, б.

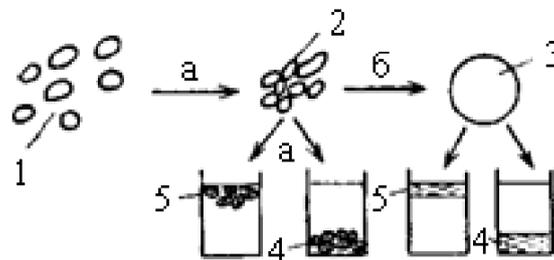


Рис. 3.4. Схема коагуляції (а) і коалесценції (б): 1 – частинки або краплі дисперсної фази; 2 – агрегати після коагуляції твердих частинок або крапель; 3 – укрупнена в результаті коалесценції крапля; 4 – седиментація; 5 – зворотна седиментація (спливання)

Ліофобні системи нестійкі через надлишок поверхневої енергії. Це пов'язано зі збільшенням енергії Гіббса ($\Delta G > 0$) і порушенням умови $T\Delta S > \Delta H$.

Також при зближенні між частинками відбувається утворення тонкого шару рідини товщиною не більше 100 мкм, в якому зароджується розклинюючий тиск. Відповідно до рис. 3.5, а, на фазовій границі 1 існують поверхневі сили, дії яких 2 поширюються на деяку відстань від поверхні. Їх дія виражається електричними компонентами і здатністю до утворення адсорбційних шарів. Дія поверхневих сил будь-якої фази роз'єднана.

Зближуючись границі розділу перекривають дві суміжні міжфазні області, як зображено на рис. 3.5, б. До перекриття цих областей вільна енергія системи залишається постійною, а тиск між частинками P дорівнює тиску в об'ємі рідини P_0 . Після їх перекриття відбувається зміна вільної енергії системи і в шарі рідини виникає розклинюючий тиск, величина якого визначається за такою формулою:

$$\pi(h) = P_0 - P \quad (3.4)$$

При позитивному розклинюючому тиску, що перешкоджає зближенню частинок, тиск в тонкому прошарку рідини P менше ніж тиск в об'ємі рідини P_0 . Рідина з об'єму переміщається в тонкий прошарок. Для того щоб два тіла зблизилися, потрібно докласти додаткове зусилля рівне розклинюючому тиску. При негативному розклинюючому тиску, тобто $P > P_0$ або $\pi(h) < 0$, рідина витікає із зазору і частки зближуються.

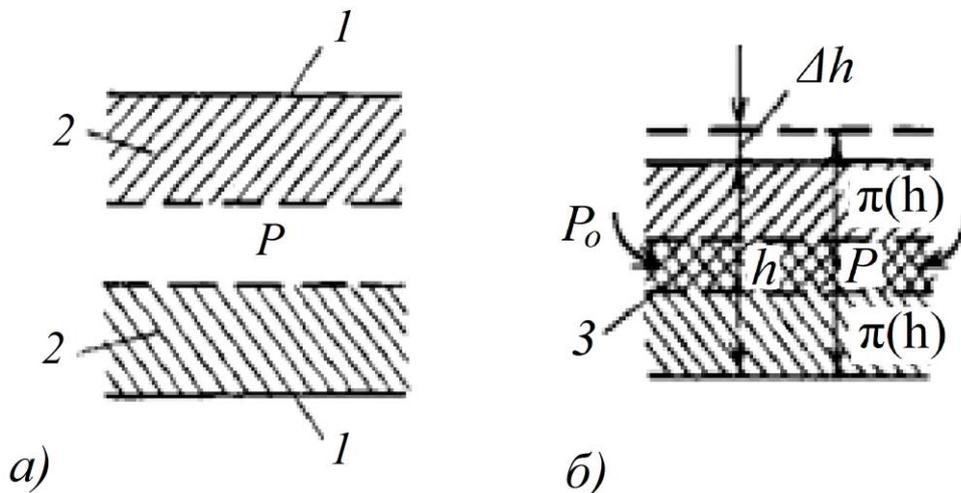


Рис. 3.5. Дальність дії поверхневих сил 2 між поверхнями 1: а – при відносно великих відстанях; б – при перекритті міжфазних областей 3

Розклинюючий тиск залежить від зміни вільної енергії, що виражається через збільшення енергії Гіббса у такий спосіб:

$$-\pi(h)dh = dG \quad (3.5)$$

або

$$\pi(h) = -(dG/dh)_{T,P,\mu} \quad (3.6)$$

Розклинюючий тиск може виникати як в тонкому шарі рідини між твердими тілами, так і між рідкими і газоподібними частками.

Завдяки теорії ДЛФО можна впливати на стійкість ліофобних дисперсних систем. Відповідно до рис. 3.6, а, зближуючись до певної відстані h частки сприяють виникненню сил міжмолекулярної взаємодії $\pi_m(h)$ та електростатичних сил $\pi_e(h)$, що призводить до формування подвійного електричного шару і до зниження поверхневої енергії. Залежно від відстані h між поверхнями частинок змінюється баланс між електростатичними силами відштовхування і міжмолекулярними силами тяжіння.

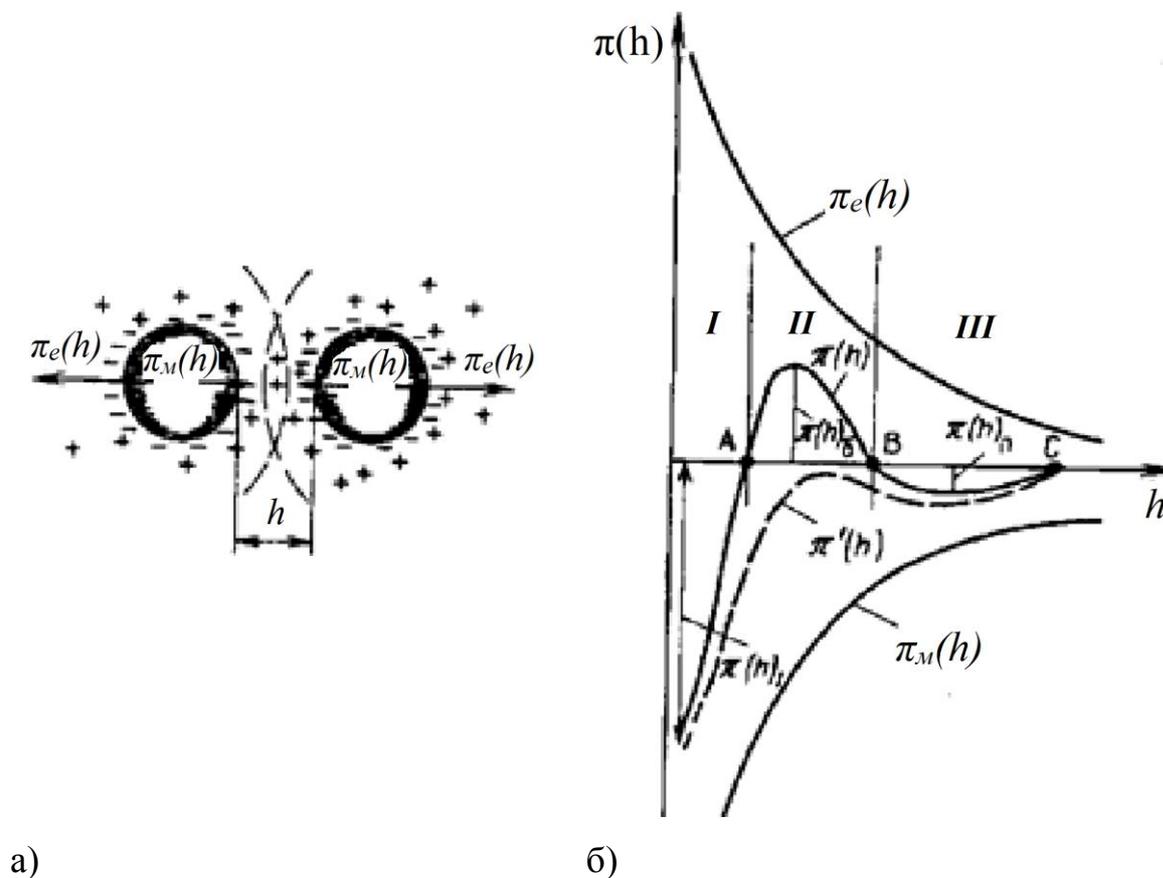


Рис. 3.6. Молекулярна $\pi_m(h)$ та електрична $\pi_e(h)$ складові розклинюючого тиску: а – взаємодія частинок; б – зміна цих складових в залежності від відстані між частинками ($\pi(h)$ – результуюча двох сил)

На рис. 3.6, б показані співвідношення сил тяжіння $\pi_m(h)$ і відштовхування $\pi_e(h)$ в залежності від відстані між частинками.

При малих відстанях між частинками (ділянка I) сили тяжіння переважають, що викликає утворення першої потенційної енергетичної ями. При великих відстанях між частинками (ділянка III) виникає друга потенційна енергетична яма. При середніх відстанях (ділянка II) утворюється потенційний бар'єр, який перешкоджає зближенню частинок.

Агрегативна стійкість залежить від потенційного бар'єру і потенційних ям.

Агрегативна стійкість дисперсних систем з рідким дисперсійним середовищем дотримується при високому енергетичному бар'єрі і незначній другій потенційній ямі, а також при середніх значеннях другої потенційної ями і потенційного бар'єру.

Порушення ж агрегативної стійкості відбувається при низькому потенційному бар'єрі та незначній другій потенційній ямі.

Адсорбційна компонента розклинюючого тиску пов'язана з перерозподілом молекул розчинника на поверхні розділу фаз. При цьому на кордонах рідких шарів утворюються структури, що відрізняються від структури цієї ж рідини в об'ємі. Відповідно до рис. 3.7, структури виникають при гідратації поверхні частинок 1 з утворенням гідратної оболонки 2. При зближенні частинок гідратів шари перекриваються, змінюючи структуру рідини і вільну енергію системи. Це сприяє виникненню додаткової сили відштовхування (або тяжіння), викликаній структурною компонентою розклинюючого тиску. Також відбувається відштовхування однойменно заряджених молекул води, що утворюють гідратну оболонку. Агрегативна стійкість залежить від часу і швидкості коагуляції.

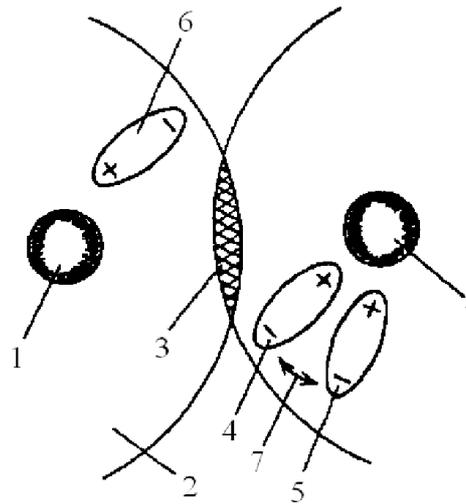


Рис. 3.7. Утворення структурної компоненти розклинюючого тиску між частинками 1 за рахунок перекриття 3 сольватних шарів; 2: 4, 5, 6 – полярні молекули сольватної оболонки; 7 – сила відштовхування між однойменно зарядженими молекулами сольватної оболонки

Швидкість коагуляції в свою чергу залежить від ймовірності злипання ϵ , яка визначає частку злипаних частинок по відношенню до числа частинок, що зіштовхнулися. Відповідно до теорії ДЛФО можна визначити коефіцієнт стабільності:

$$K_c = \frac{1}{\epsilon} \quad (3.7)$$

Агрегативну стійкість дисперсних систем можна зберегти шляхом зниження поверхневого натягу за допомогою молекул ПАР.

На агрегативну стійкість цементної системи впливають два фактори: електростатичний бар'єр, обумовлений силами відштовхування, і адсорбційно-сольватний бар'єр, який оточує частинки цементу і перешкоджає їх зближенню.

При введенні пластифікатору в цементний розчин відбувається його адсорбція на зернах цементу, що надає їм однойменний негативний заряд і викликає зниження Z-потенціалу, тобто створюється електростатичний бар'єр, відштовхуючий частки один від одного, в результаті чого підвищується агрегативна стійкість системи.

Також при адсорбції молекули пластифікатору на цементних частинках

утворюються сольватні шари, що перекриваються при зближенні частинок, що призводить до збільшення осмотичного тиску і тиску відштовхування, запобігаючи коагуляцію і збільшують агрегативну стійкість системи. Збільшення ж агрегативної стійкості викликає підвищення седиментаційних стійкості.

Добавки ПАР дозволяють регулювати процеси коагуляції і стабілізації цементних систем.

Стойкість цементних систем виникає в результаті утворення структурно-механічного бар'єру, що перешкоджає злипанню цементних зерен. Молекули ПАР утворюють адсорбційні шари, при перекритті яких виникає пружна і міцна структура.

Введення пластифікаторів в розчинну суміш сприяє зміні води сольватних оболонок частинок новоутворень цементу. При адсорбції ПАР на поверхні твердої фази об'єм води в сольватних оболонках зменшується, а об'єм вільної води зростає. Це призводить до поліпшення реології суміші, але уповільнює тверднення цементу.

При взаємодії води з цементом його зерна частково злипаються, утворюючи флокули і не встигнувши прореагувати з водою. Флокули цементних зерен прискорюють седиментацію, тобто дисперсна система стає агрегативно- і седиментаційно-нестійкою. Добавки пластифікаторів є дефлокулянтами цементу, тобто розбивають цементні скупчення на більш дрібні складові, підвищуючи при цьому ефективність його використання і стійкість самої дисперсної системи.

Дія гіперпластифікаторів ґрунтується на спільному прояві електростатичного і стеричного ефектів, зображених на рис. 3.8, який виникає за допомогою бічних гідрофобних поліефірних ланцюгів молекули полікарбоксилатного ефіру. За рахунок цього, їх водоредукуючий ефект досягає більш 50%. Механізм дії гіперпластифікаторів на цементні системи забезпечується за рахунок переважаючого стеричного ефекту.

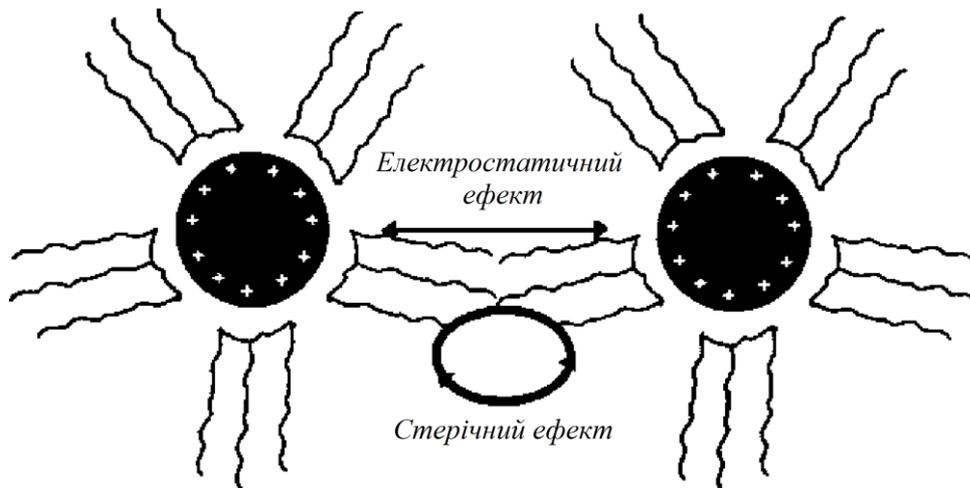


Рис. 3.8. Механізм дії гіперпластифікаторів

Результатом такого впливу гіперпластифікаторів є велика розріджуюча здатність при малих дозах, знижена чутливість до якості цементу, однорідність бетонних і розчинних сумішей і високі експлуатаційні характеристики готової продукції.

Пластифікуючі добавки, адсорбуючись на границі «вода-тверда фаза», на поверхневий натяг рідкої фази впливають незначно. Відповідно до рис. 3.9, гіперпластифікатори володіють диспергируючим ефектом, тобто збільшують кількість частинок в системі і зменшують їх розмір, підвищують седиментаційну стійкість цементної системи.

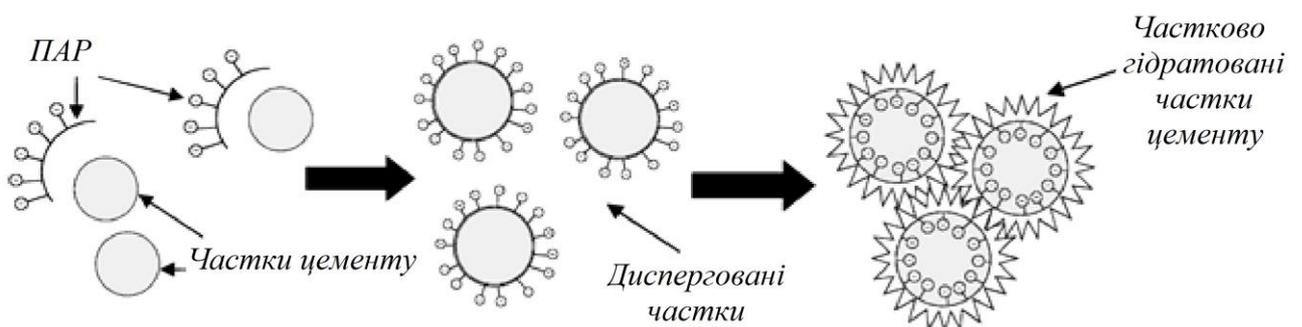


Рис. 3.9. Диспергуючий ефект пластифікаторів

Головними етапами механізму дії гіперпластифікаторів є:

- адсорбція молекул ПАР на поверхні твердої фази;
- зміна електрокінетичного потенціалу поверхні;

- проникність подвійного електричного поля і адсорбційної оболонки молекулами води і продуктами розчинення твердої фази;
- зміна товщини шару води, що знаходиться на поверхні твердого тіла.

При покритті поверхні цементних зерен моношаром ПАР міцність і енергія зв'язку між ними різко знижуються. Адсорбуючись, ПАР розміщують частки на відстані двох молекулярних шарів. Введення гіперпластифікаторів на ранніх стадіях взаємодії цементу з водою диспергує цементні агрегати і ускладнює їх подальшу коагуляцію до великих флокул. При цьому вивільняється вода, механічно утримується в порах структури. Підвищення числа цементних частинок прискорює гідратацію цементу і структуроутворення цементних систем.

Крім цього, присутність в молекулах гіперпластифікатору гідрофобних груп, уповільнює гідратацію і процеси формування структури цементного каменю. Адсорбційна оболонка з молекул гіперпластифікатору пропускає диполі води і продукти розчинення твердої фази через гідрофільні ділянки і блокує ці процеси на гідрофобних ділянках.

Гіперпластифікатори по-різному впливають на гідратацію клінкерних мінералів і на фазовий склад цементного каменю.

При невеликих концентраціях гіперпластифікатор відбувається насичення поверхонь C_3S та C_2S . Зі збільшенням ж вмісту гіперпластифікатору їх швидкість гідратації знижується.

Адсорбція молекул ПАР протікає переважно хемосорбційно. При підвищених концентраціях пластифікуючої добавки її молекули, адсорбуючись на зародках $Ca(OH)_2$, стримують утворення кристалічного гідроксиду. Гідратація трикальцієвого силікату в присутності гіперпластифікаторів відбувається повільніше, ніж у алітової фази в цементах.

Структура отверділого C_3S з пластифікуючими добавками характеризується меншою пористістю і меншою питомою поверхнею.

Частинки C_3A адсорбують в два-три рази більше пластифікатора, ніж частки C_3S та C_2S , в результаті чого відбувається утворення високодисперсних гідроалюмінатів.

Адсорбція гіперпластифікаторів на зернах C_4AF приблизно в два рази перевищує адсорбцію на C_3A . Присутність ПАР практично не впливає на період гідратації C_3A та C_4AF .

У присутності молекул гіперпластифікатору в цементних розчинах перебігають два протилежні процеси:

– утворення адсорбційних шарів запобігає агрегуванню цементних систем, уповільнює процеси гідратації і структуроутворення;

– в результаті диспергування збільшується число дрібних частинок, що призводить до їх більш інтенсивного зрощення, прискорення гідратації, а також збільшує седиментаційну стійкість цементної системи.

Гіперпластифікаторів на перших стадіях гідратації уповільнюють утворення еттрингіту.

Зі зниженням активності в'язучої речовини та зі збільшенням концентрації гіперпластифікатора структуроутворення сповільнюється. Для складів зі зниженим В/Ц і з добавками гіперпластифікаторів капілярна пористість і середній радіус пор значно зменшуються. Це формує щільну структуру цементного каменю з поліпшеними фізико-механічними властивостями.

Механізм ефекту пластифікації ПАР, на думку В.Г. Хозіна, заснований на витісненні з адсорбційних шарів молекулами пластифікатору зв'язаної води. Саме ця звільнена від адсорбційної взаємодії вода і забезпечує ефект пластифікації. Тому, не сам пластифікатор надає рухливість бетонної суміші, а додана з адсорбційних шарів вода.

Запропоновано механізм пластифікації пінобетонної суміші, зображений на рис. 3.10, як способу зміцнення структури пінобетону, що полягає в синергетичному ефекті, що виникає при введенні в систему двох ПАР різної дії.

ПАР перешкоджають коагуляції частинок, тим самим, зумовлюючи стійкість колоїдної системи.

Розклинюючий тиск в тонких прошарках рідини виникає завдяки таким факторам:

- електростатичної взаємодії в шарі, що обумовлено взаємним перекриттям подвійних електричних шарів, показаним на рис. 3.12;
- Ван-дер-ваальсовим силам тяжіння з енергією $U_{пр} < 0$;
- адсорбційним силам, що виникають при перекриванні молекулярних адсорбційних шарів, де підвищена концентрація створює осмотичний потік в сторону плівки, приводячи до відштовхування;
- структурним силам, пов'язаним з утворенням граничних шарів розчинника з особливою структурою.

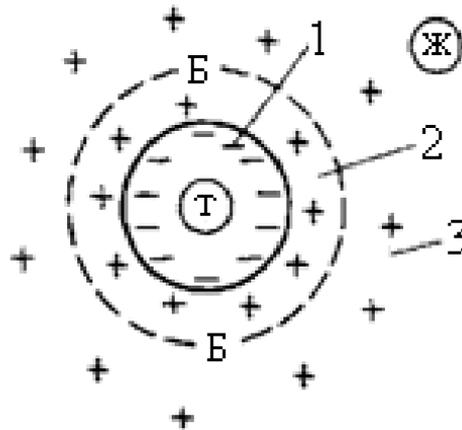


Рис. 3.12. Будова ДЕС для частинки дисперсної фази:

- 1 – потенціалоутворюючий шар іонів; 2 – протиіони в адсорбційному шарі;
3 – протиіони в дифузному шарі

Результуюча енергія взаємодії між частинками U визначається за такою формулою:

$$U = U_{отг} + (-U_{пр}) = U_{отг} - U_{пр} \quad (3.8)$$

Якщо $|U_{отг}| > |U_{пр}|$, то переважають сили відштовхування, коагуляції не

відбувається, система є агрегативно-стійкою. Якщо ж $|U_{пр}| > |U_{отт}|$, то між частинками переважають сили тяжіння, відбувається їх коагуляція і система втрачає агрегативну стійкість.

Існує п'ять факторів стійкості.

1. Електростатичний, обумовлений наявністю ДЕС та ξ -потенціалу на поверхні частинок.

2. Адсорбційно-сольватний, обумовлений зниженням поверхневого натягу при взаємодії дисперсійного середовища з твердою часткою.

3. Структурно-механічний, обумовлений утворенням плівки на поверхні твердих частинок, що володіє пружністю і міцністю, і на руйнування якої потрібен час і енергія.

4. Ентропійний, обумовлений тим, що коагуляція сприяє зменшенню кількості частинок в системі та ентропії ($\Delta S < 0$), що підвищує вільну енергію системи $\Delta G > 0$. В результаті цього система прагне відштовхнути частки одну від одної і розподілити їх рівномірно по всьому об'єму.

5. Гідродинамічний, обумовлений збільшенням щільності і динамічної в'язкості дисперсійного середовища.

Фактично, в системах діють одночасно кілька чинників стійкості.

3.7. Вплив пластифікатору на технологічні чинники і відпускні параметри пінобетону

Підхід до визначення відсотка пластифікуючих добавок в теплоізоляційному пінобетоні ґрунтувався на виявленні рухливості розчинної суміші, яка визначається за допомогою віскозиметра Суттарда за стандартною методикою у відповідність з ДСТУ Б В.2.7-82: 2010 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови».

Результати виявлення рухливості розчинної суміші при факторах X_1 – водоцементне відношення (В / Ц), X_2 – кількість пластифікуючої добавки в % від маси твердих речовин зображені на рис. 3.13...3.21.

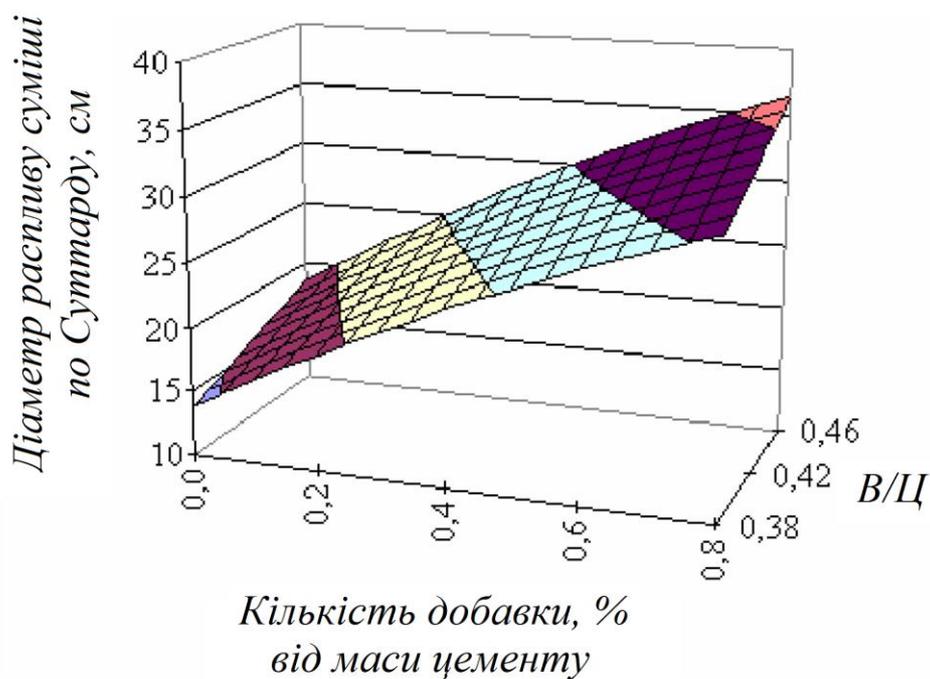


Рис. 3.13. Рухливість цементного розчину в залежності від водоцементного відношення і кількості гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100»

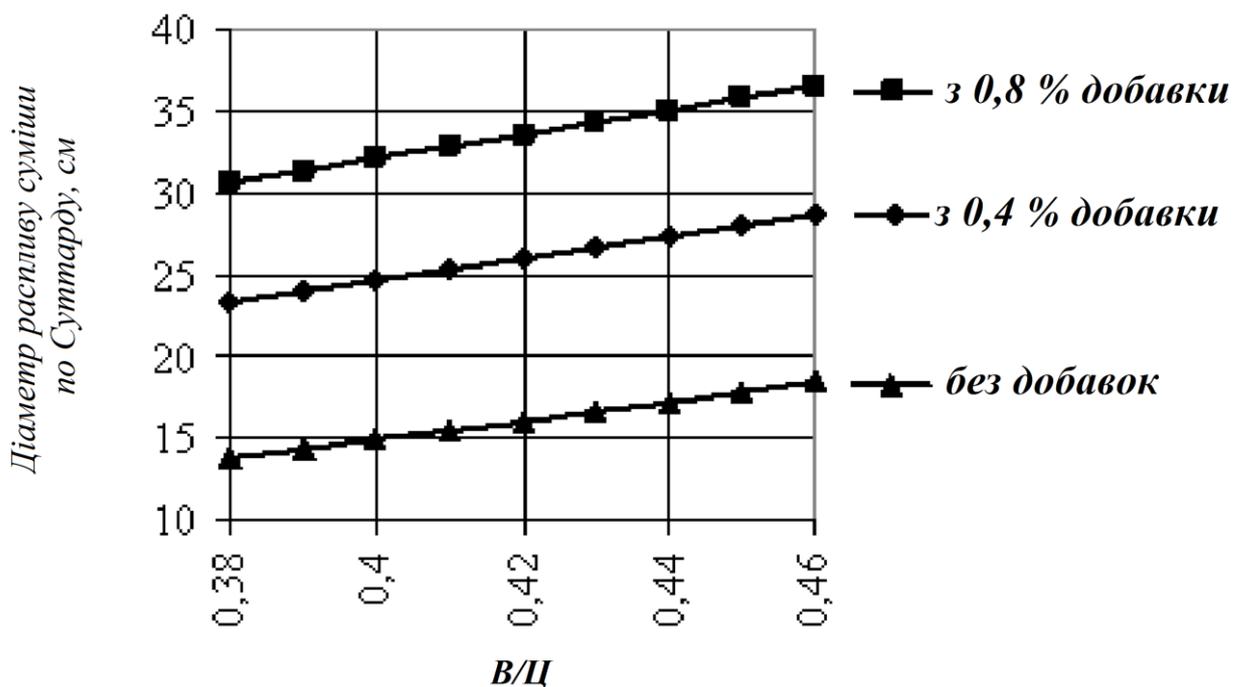


Рис. 3.14. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з добавкою гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» за віскозиметром Суттарда від водоцементного відношення

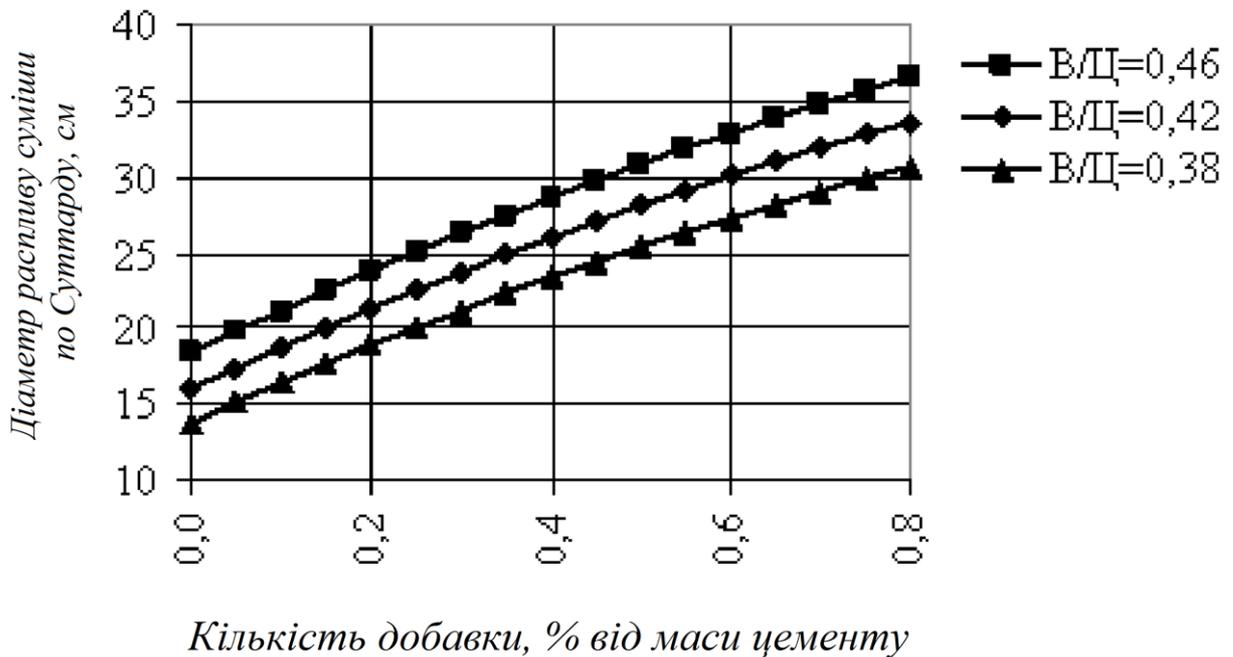


Рис. 3.15. Залежність діаметра розливу розчинної суміші за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100»

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з гіперпластифікатором «МС-Power-Flow-3100»:

$$Y = 29,73493 + 6,848082 X_1 + 10,697 X_2 + 1,15 X_1 X_2 + 0,92538 X_1^2 - 1,92462 X_2^2, \quad (3.9)$$

де Y – діаметр розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100».

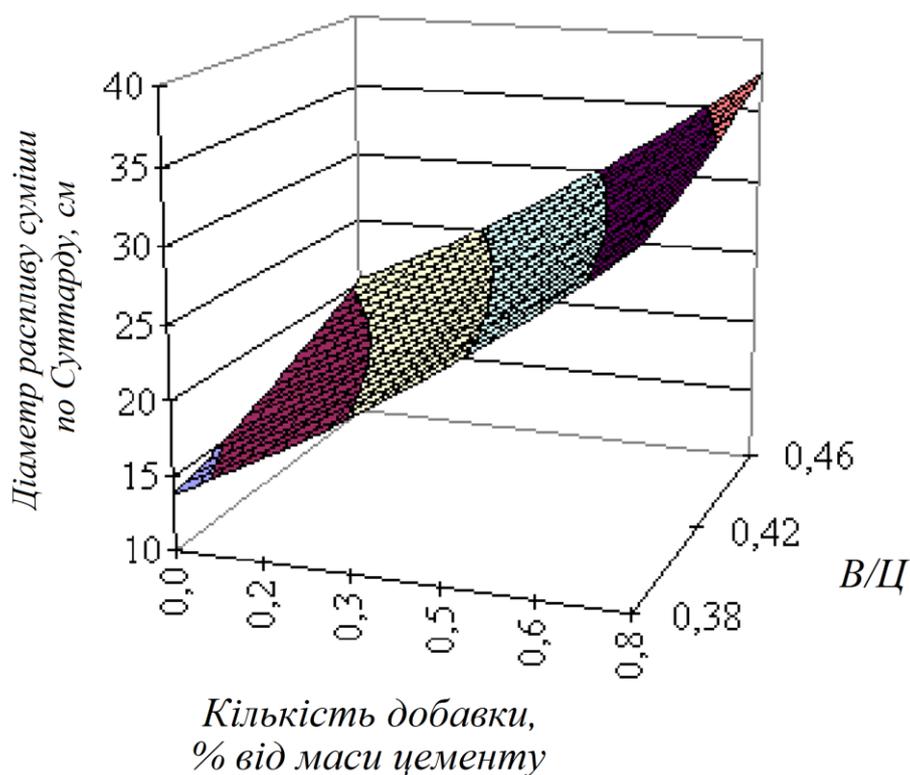


Рис. 3.16. Рухливість цементного розчину в залежності від водоцементного відношення і кількості суперпластифікатора «Реламікс-М»

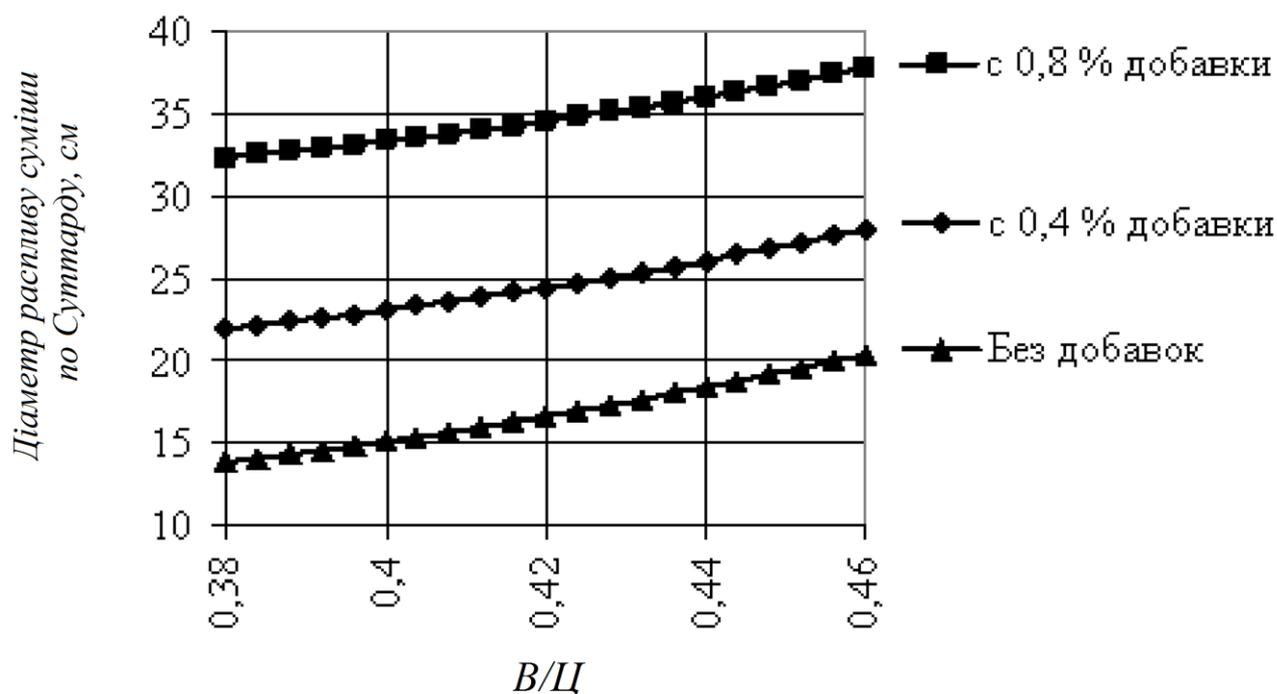


Рис. 3.17. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з добавкою суперпластифікатора та прискорювача тверднення «Реламікс-М» за віскозиметром Суттарда від водоцементного відношення

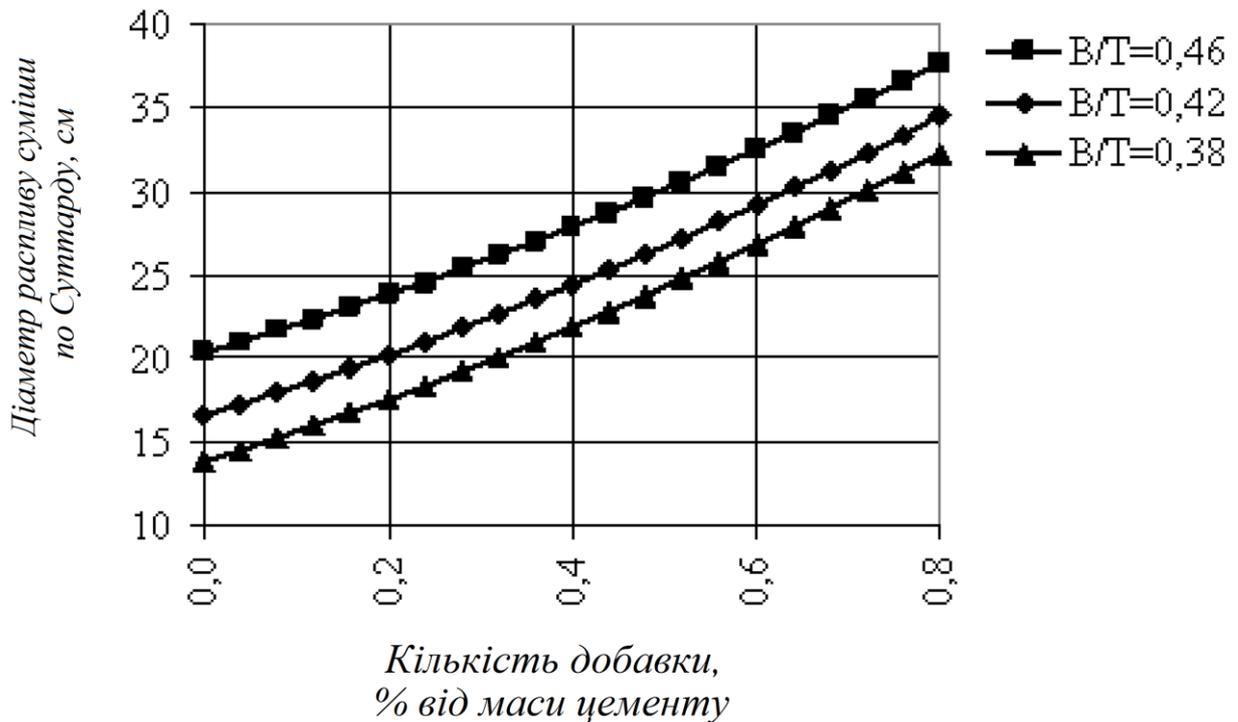


Рис. 3.18. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші за віскозиметром Суттарда від кількості суперпластифікатора і прискорювача тверднення «Реламікс-М»

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з суперпластифікатором і прискорювачем тверднення «Реламікс-М»

$$Y=29,3134+8,331X_1+13,56287X_2+1,325X_1X_2-1,69093X_1^2+3,10907X_2^2, \quad (3.10)$$

де Y – діаметр розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість суперпластифікатора та прискорювача тверднення «Реламікс-М».

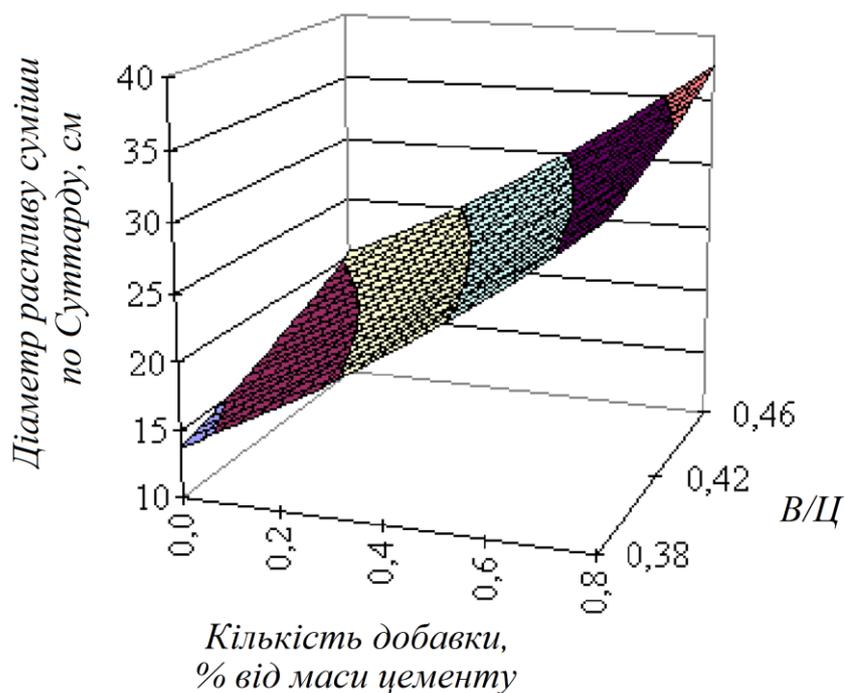


Рис. 3.19. Рухливість цементного розчину в залежності від водоцементного відношення і кількості гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591»

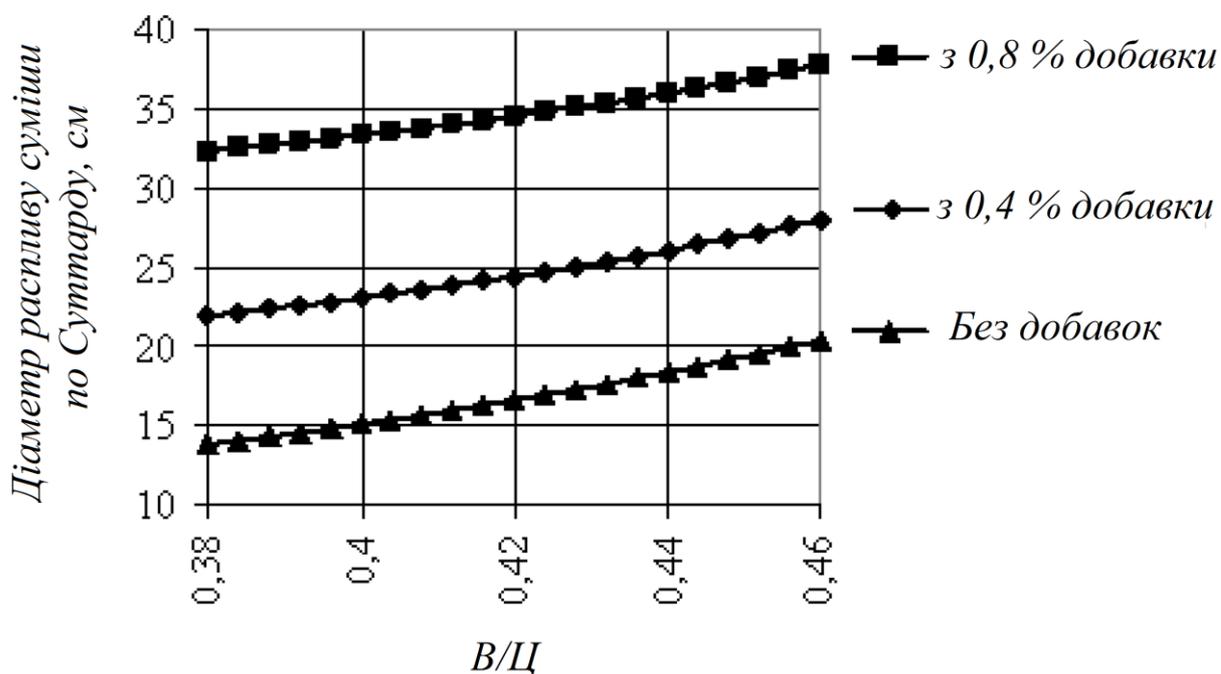


Рис. 3.20. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з добавкою гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591» за віскозиметром Суттарда від водоцементного відношення

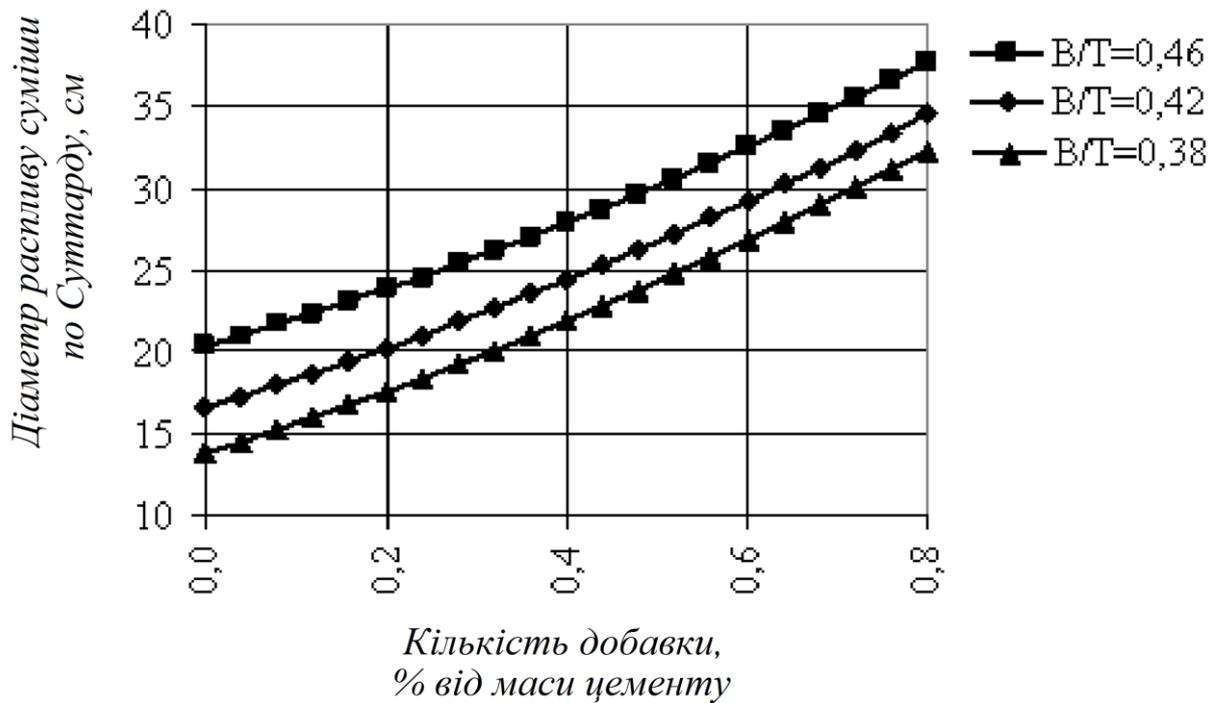


Рис. 3.21. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591»

За результатами випробувань отримано наступне рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з гіперпластифікатором «GLENIUM SKY 591»:

$$Y=25,26807+7,114674X_1+11,39681X_2+0,075X_1X_2+0,12502X_1^2+3,77502X_2^2, \quad (3.11)$$

де Y – діаметр розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591».

Результати визначення таких фізико-механічних характеристик пінобетонних зразків, як середня щільність, вологість, міцність при стиску та теплопровідність від водоцементного відношення і кількості пластифікуючих добавок наведені в табл. 3.6...3.8 та зображені на рис. 3.22...3.40.

Таблиця 3.6

Фізико-механічні характеристики пінобетонних зразків в залежності від В/Ц та % вмісту гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100»

| В/Ц | Діаметр розливу суміші за Суттардом, см | Кількість добавки, % від маси цементу | Середня щільність зразка, кг/м ³ | Вологість, % | Міцність при стиску, МПа | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м °С) |
|------|---|---------------------------------------|---|--------------|--------------------------|--|
| 0,38 | 20 | 0,250 | 400 | 21,4 | 0,17 | 0,096 |
| | 25 | 0,450 | 410 | 21,2 | 1,35 | 0,105 |
| | 30 | 0,750 | 400 | 21,2 | 1,28 | 0,112 |
| 0,42 | 20 | 0,155 | 420 | 18,7 | 0,24 | 0,096 |
| | 25 | 0,355 | 410 | 19,5 | 1,01 | 0,096 |
| | 30 | 0,620 | 420 | 21,9 | 1,59 | 0,114 |
| 0,46 | 20 | 0,055 | 420 | 23,4 | 0,57 | 0,109 |
| | 25 | 0,255 | 410 | 23,7 | 1,12 | 0,108 |
| | 30 | 0,455 | 420 | 23,8 | 1,34 | 0,118 |

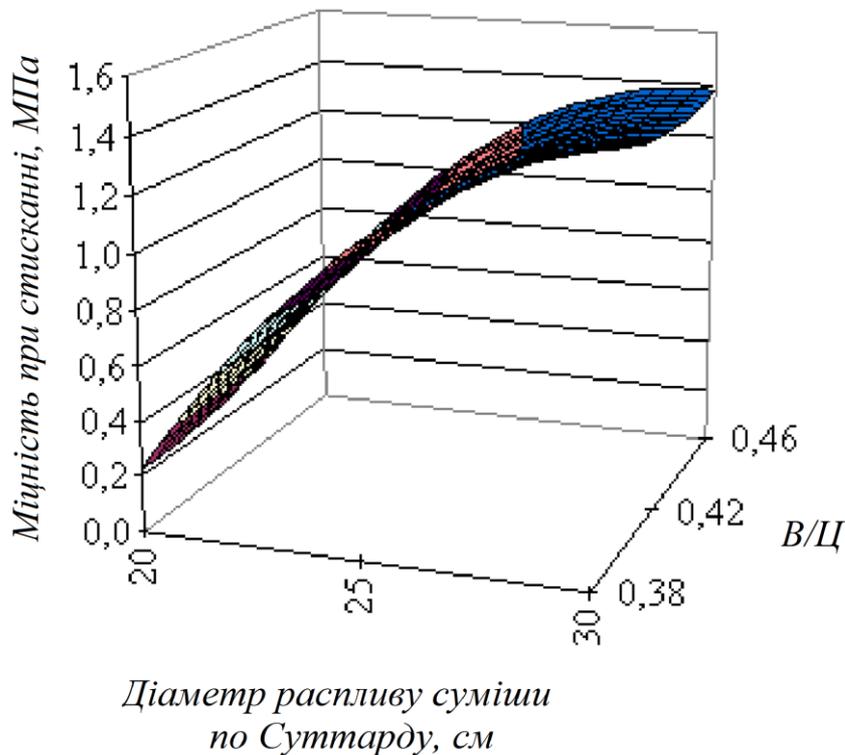


Рис. 3.22. Міцність при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розливу вихідної суміші за Суттардом

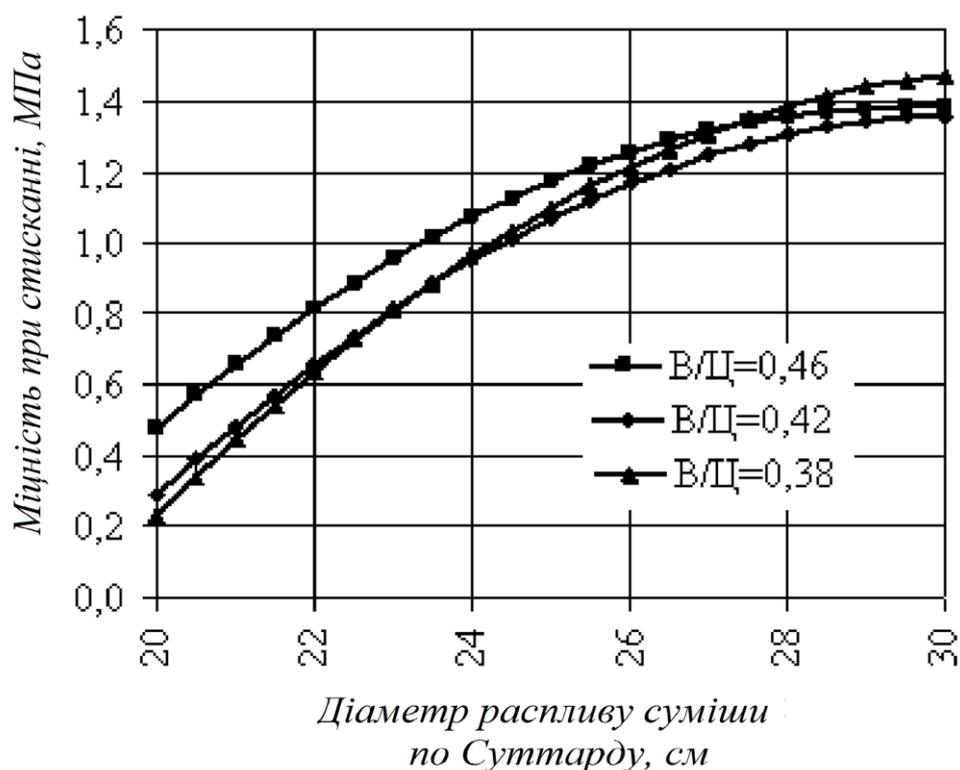


Рис. 3.23. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» від розливу вихідної суміші за Суттардом

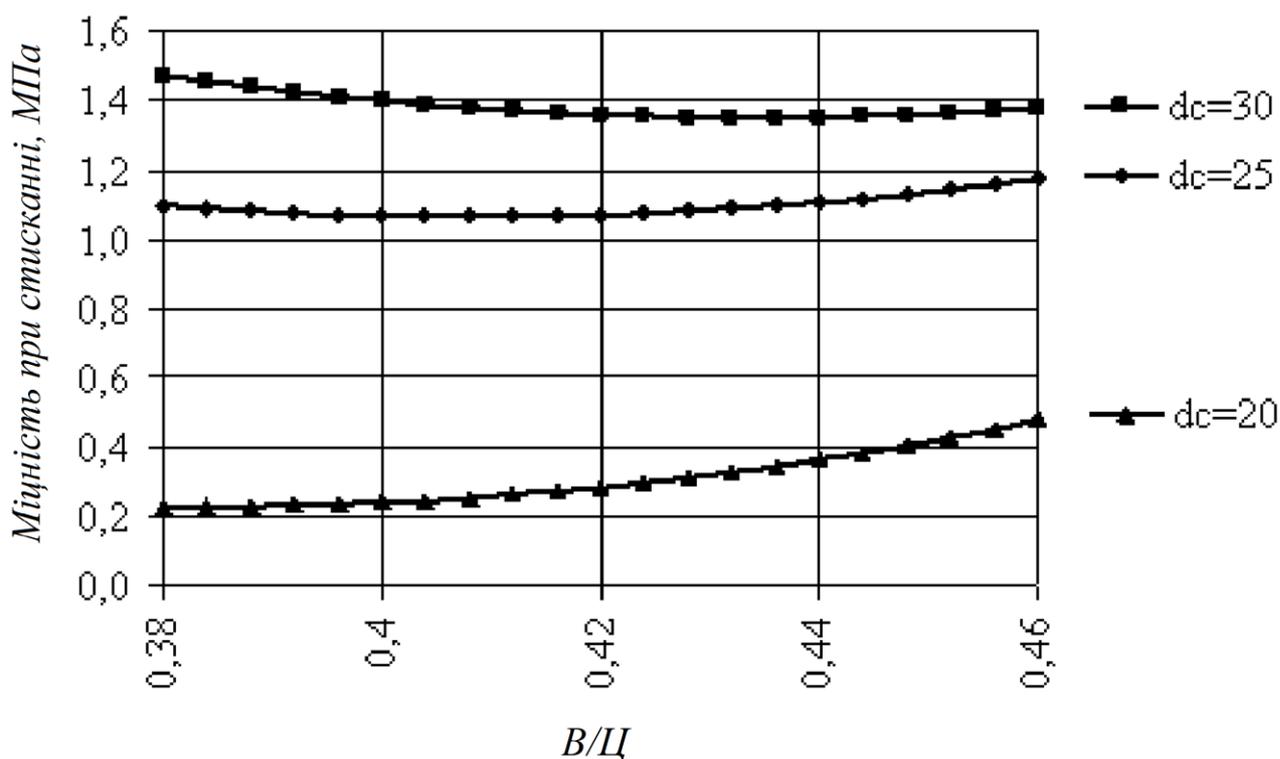


Рис. 3.24. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з гіперпластифікатором «МС-Power-Flow-3100»:

$$Y=1,068183+0,038323X_1+0,536516X_2-0,085X_1X_2+0,068618X_1^2-0,24638X_2^2, (3.12)$$

де Y – міцність при стиску пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100».

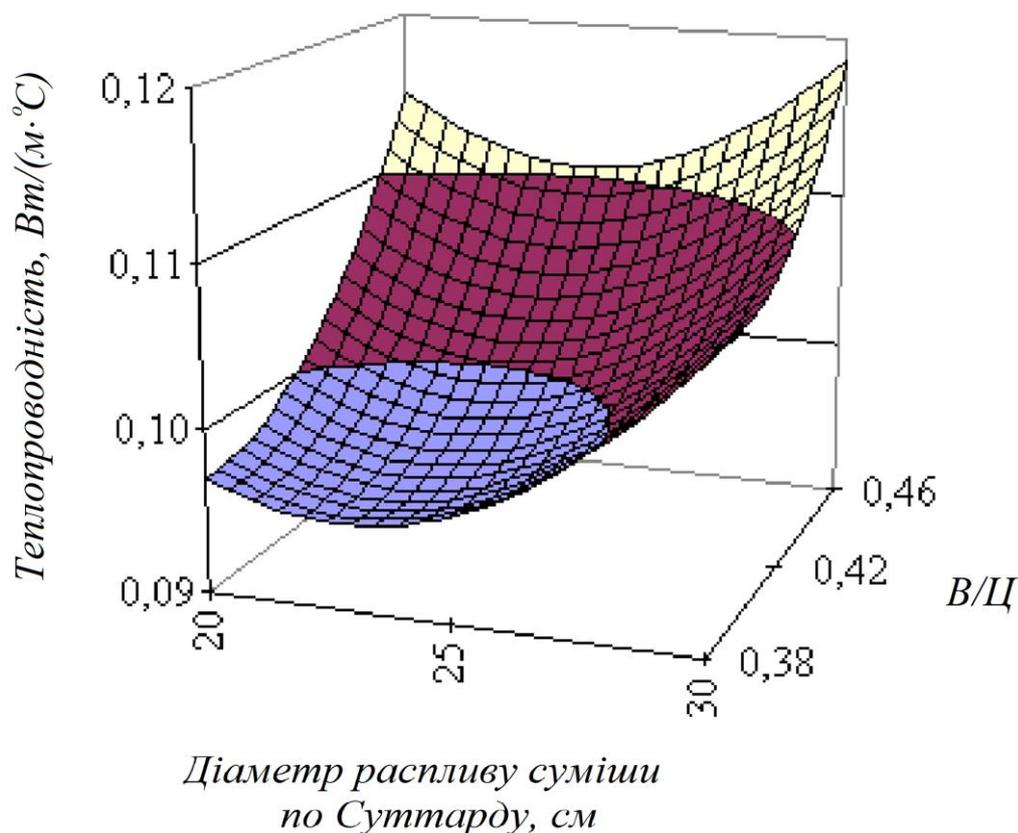


Рис. 3.25. Теплопровідність пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розпливу вихідної суміші за Суттардом

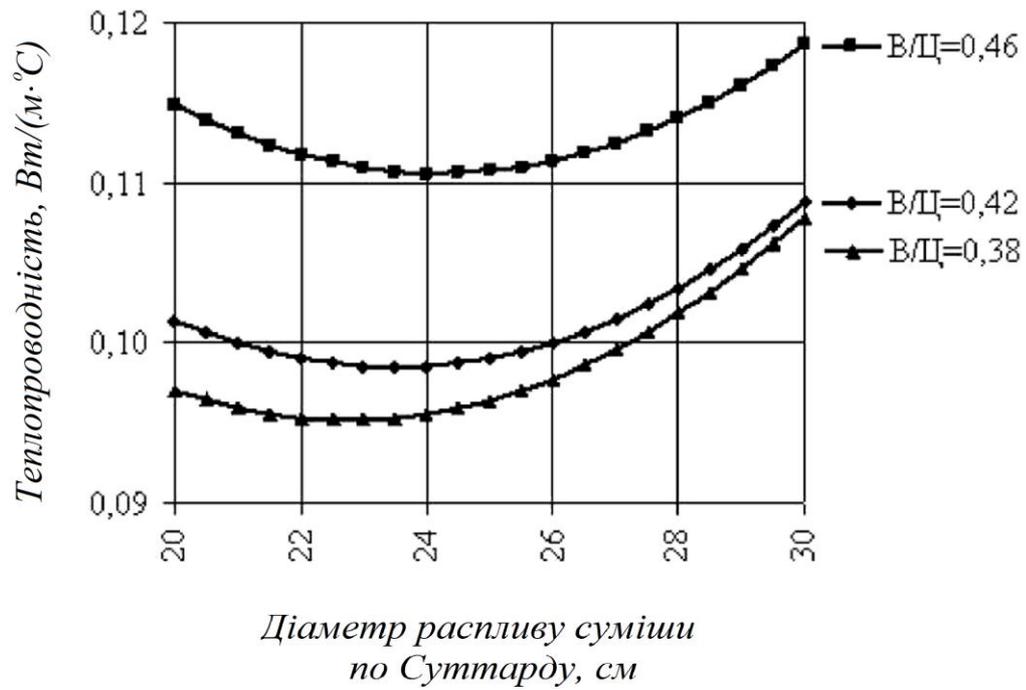


Рис. 3.26. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» від розпливу вихідної суміші за Суттардом

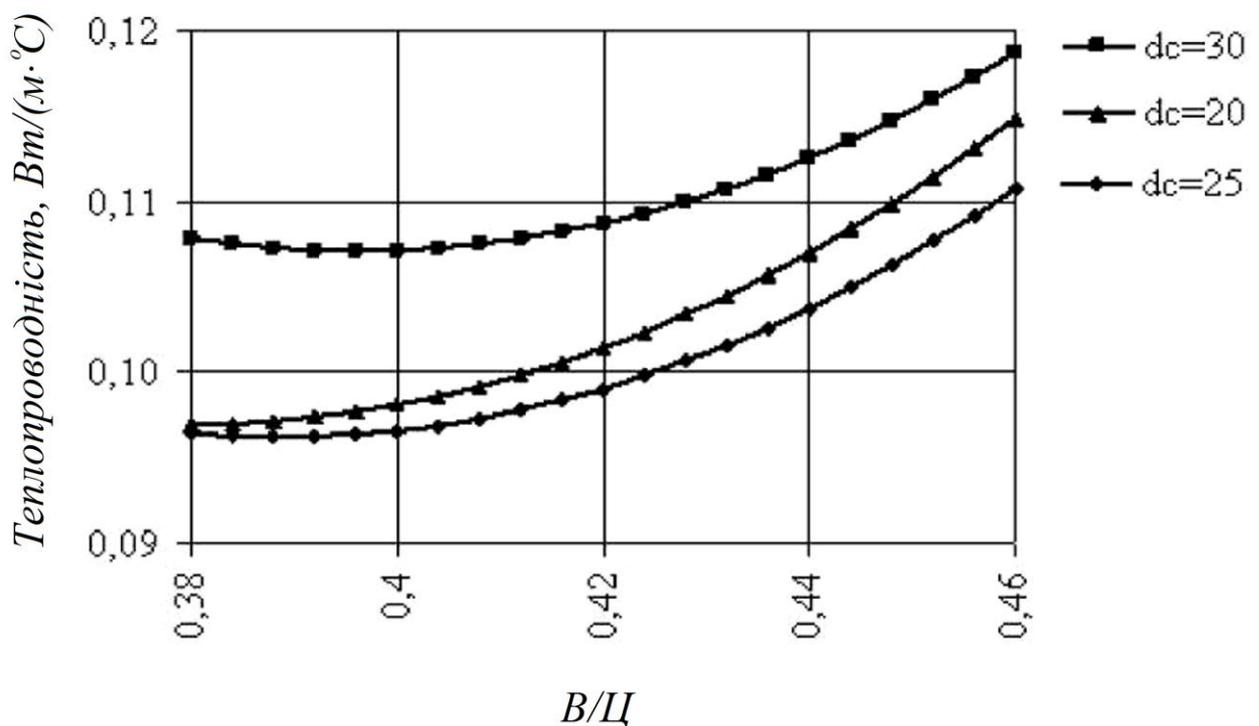


Рис. 3.27. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з гіперпластифікатором «МС-Power-Flow-3100»:

$$Y=0,099047+0,007165X_1+0,003666X_2-0,00175X_1X_2+0,004532X_1^2+0,006032X_2^2, \quad (3.13)$$

де Y – теплопровідність пінобетону зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатор «МС-Power-Flow-3100».

Таблиця 3.7

Фізико-механічні характеристики пінобетонних зразків в залежності від В / Ц та % вмісту гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591»

| В/Ц | Діаметр розпливу суміші за Суттардом, см | Кількість добавки, % від маси цементу | Середня щільність зразка, кг/м ³ | Вологість, % | Міцність при стиску, МПа | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м·°С) |
|------|--|---------------------------------------|---|--------------|--------------------------|--|
| 0,38 | 20 | 0,455 | 430 | 19,6 | 0,11 | 0,085 |
| | 25 | 0,655 | 430 | 23,0 | 1,05 | 0,123 |
| | 30 | 0,85 | 420 | 22,1 | 0,64 | 0,120 |
| 0,42 | 20 | 0,35 | 430 | 24,0 | 0,18 | 0,090 |
| | 25 | 0,555 | 430 | 25,2 | 1,04 | 0,124 |
| | 30 | 0,755 | 420 | 25,0 | 0,72 | 0,116 |
| 0,46 | 20 | 0,155 | 420 | 24,2 | 0,09 | 0,088 |
| | 25 | 0,455 | 430 | 27,1 | 0,59 | 0,129 |
| | 30 | 0,655 | 420 | 26,6 | 0,39 | 0,119 |

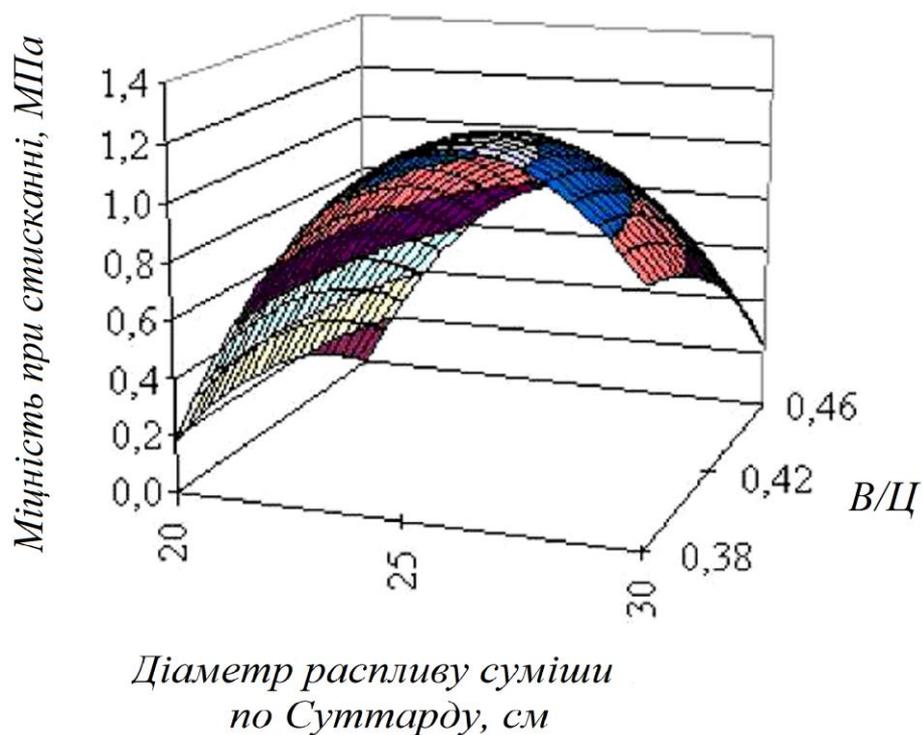


Рис. 3.28. Міцність при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розливу вихідної суміші за Суттардом

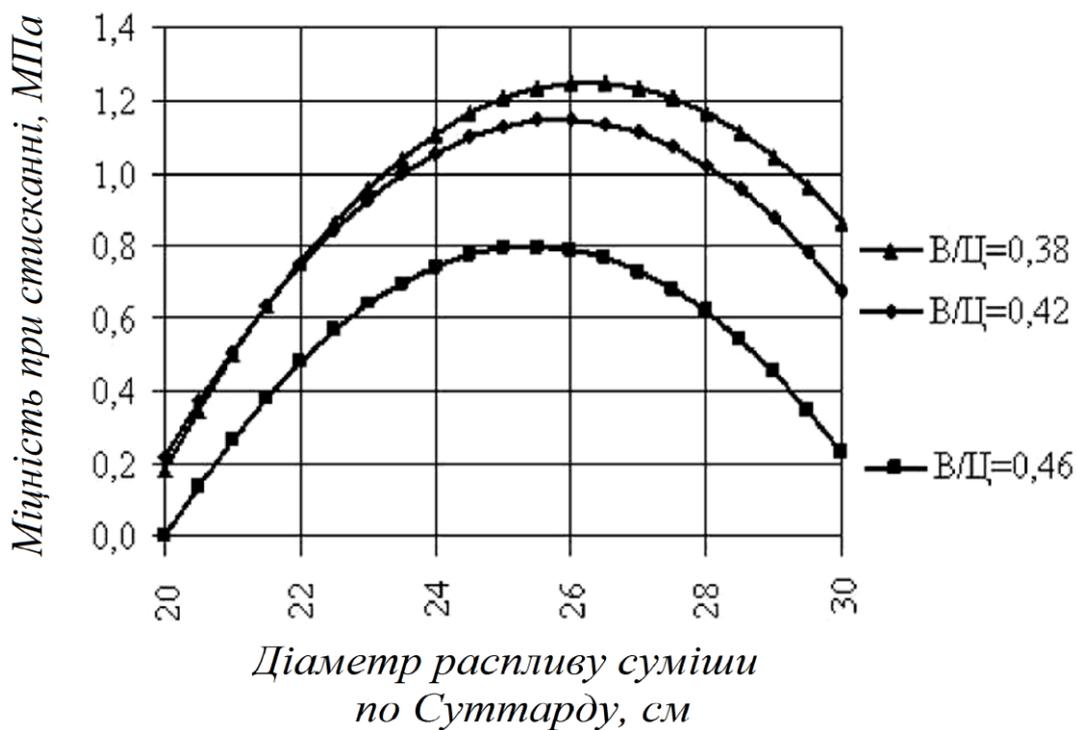


Рис. 3.29. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591» від розливу вихідної суміші за Суттардом

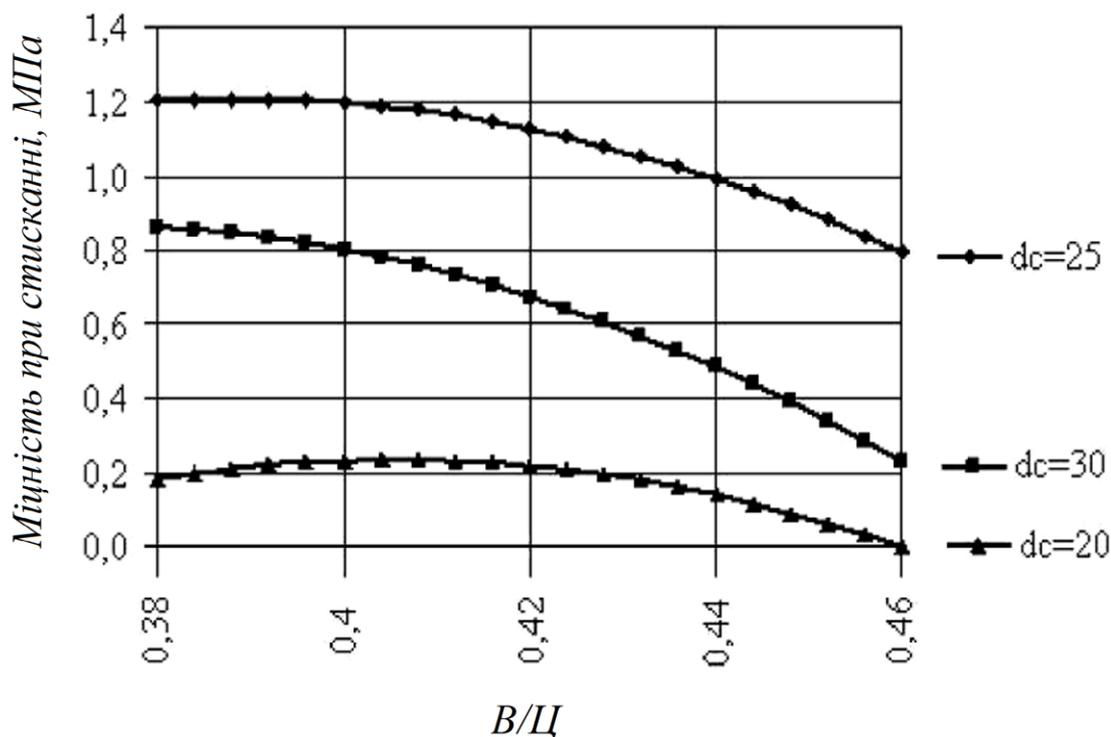


Рис. 3.30. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано наступне рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з гіперпластифікатором «Glenium»:

$$Y=1,12576-0,20494X_1+0,228269X_2-0,1125X_1X_2-0,12816X_1^2-0,67816X_2^2, \quad (3.14)$$

де Y – міцність при стиску пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591».

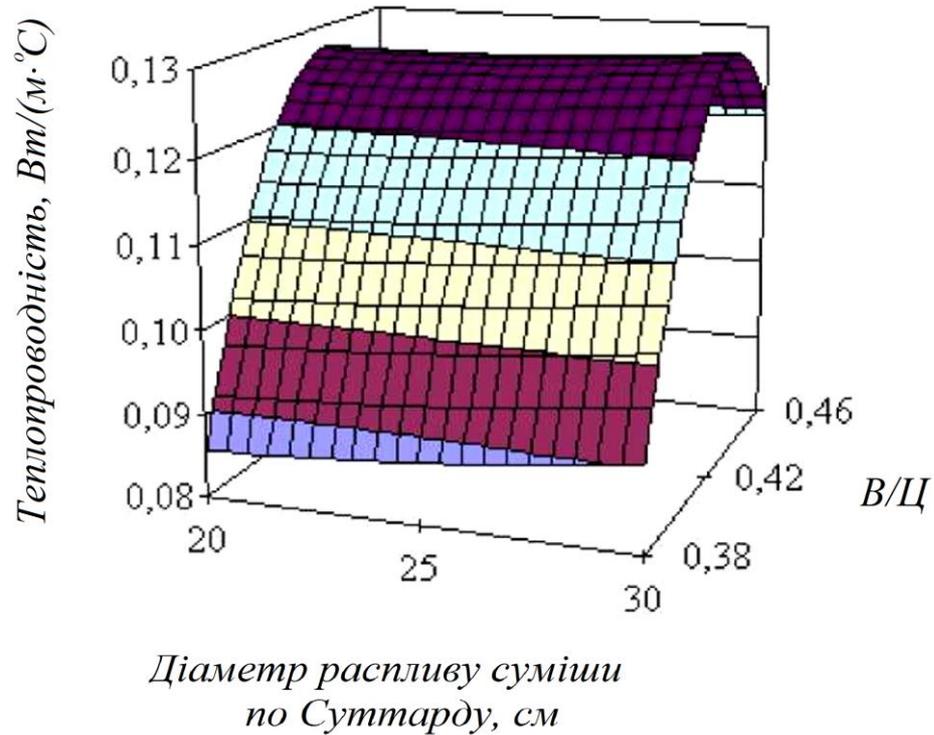


Рис. 3.31. Теплопровідність пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розливу вихідної суміші за Суттардом

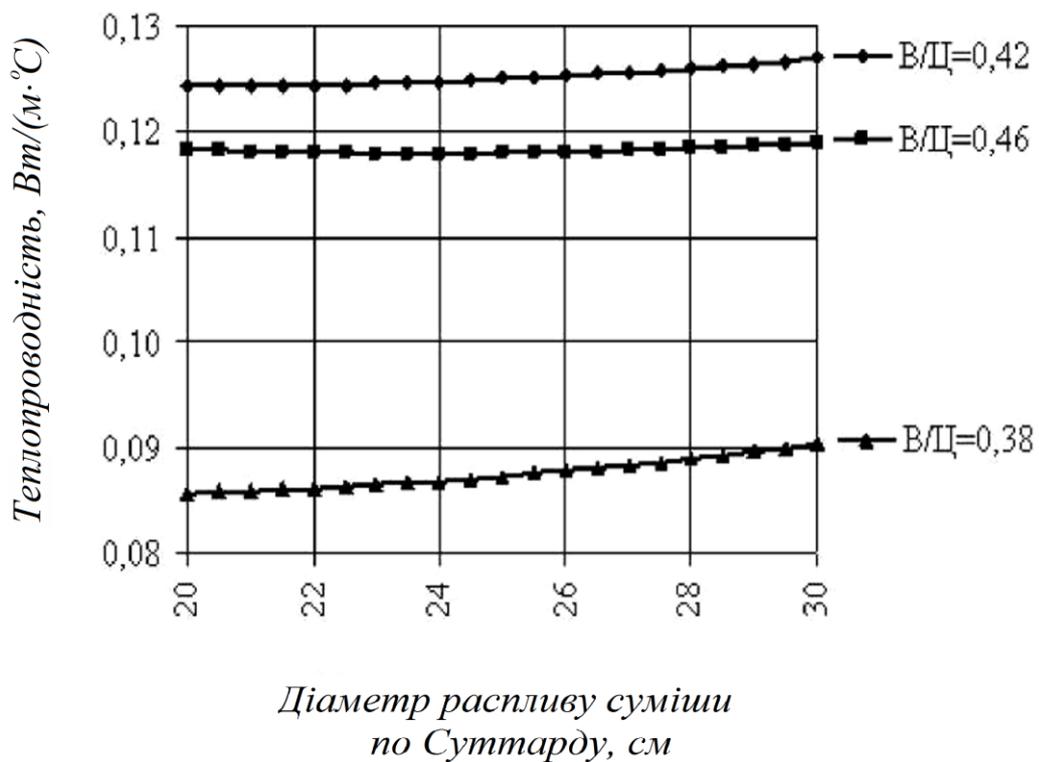


Рис. 3.32. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків з добавкою гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591» від розливу вихідної суміші за Суттардом

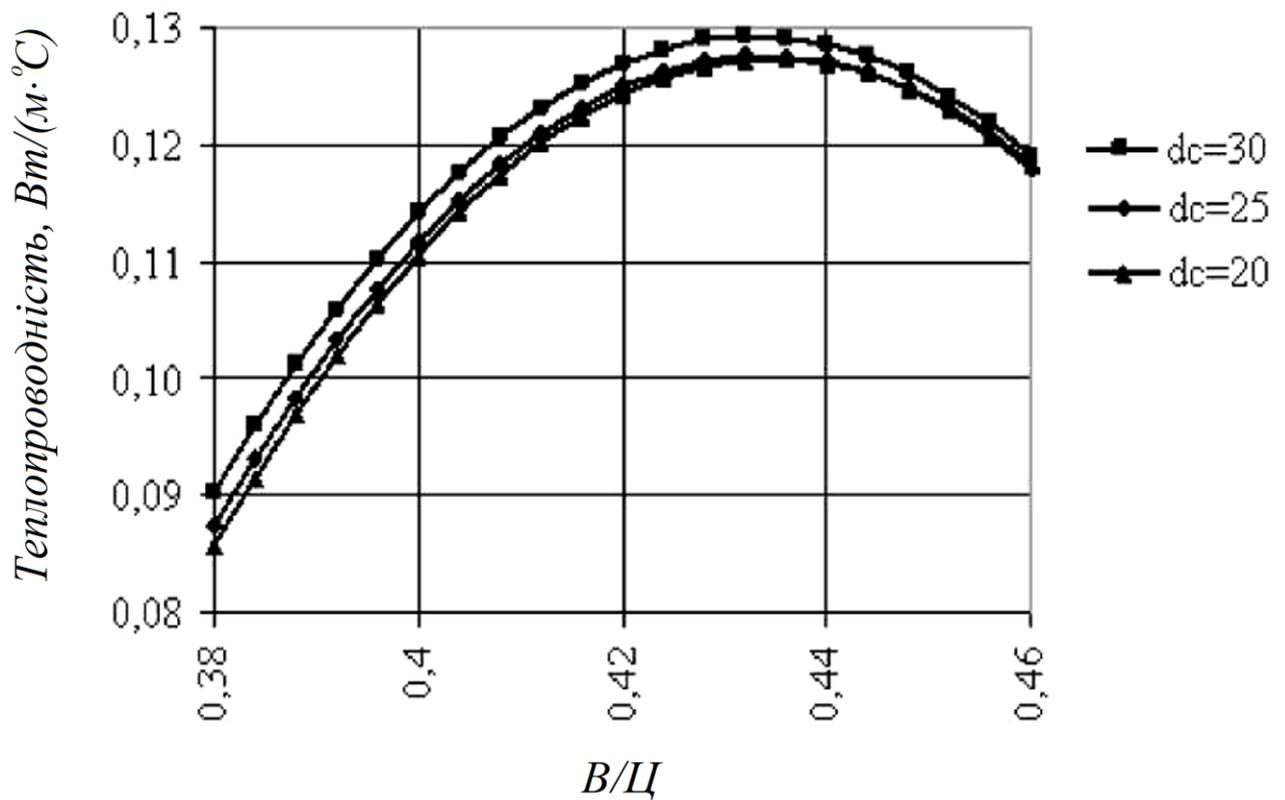


Рис. 3.33. Залежність теплопровідності пінобетону зразків з добавкою гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано наступне рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з гіперпластифікатором «GLENIUM SKY 591»:

$$Y=0,124936+0,015329X_1+0,001333X_2-0,001X_1X_2-0,0223X_1^2+0,0007X_2^2, \quad (3.15)$$

де Y – теплопровідність пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «GLENIUM SKY 591».

Таблиця 3.8

Фізико-механічні характеристики пінобетонних зразків в залежності від В/Ц та % вмісту суперпластифікатору та прискорювача тверднення «Реламікс-М»

| В/Ц | Діаметр розпливу суміші за Суттардом, см | Кількість добавки, % від маси цементу | Середня щільність зразка, кг/м ³ | Вологість, % | Міцність при стиску, МПа | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м·°С) |
|------|--|---------------------------------------|---|--------------|--------------------------|--|
| 0,38 | 20 | 0,8 | 440 | 20,9 | 1,27 | 0,091 |
| | 25 | 1,2 | 430 | 24,3 | 1,11 | 0,097 |
| | 30 | Залишкова течія суміші | | | | |
| 0,42 | 20 | 0,42 | 440 | 23,6 | 1,00 | 0,116 |
| | 25 | 0,85 | 450 | 18,6 | 1,82 | 0,111 |
| | 30 | Залишкова течія суміші | | | | |
| 0,46 | 20 | 0,1 | 430 | 18,2 | 0,35 | 0,094 |
| | 25 | 0,6 | 440 | 27,0 | 0,95 | 0,101 |
| | 30 | Залишкова течія суміші | | | | |

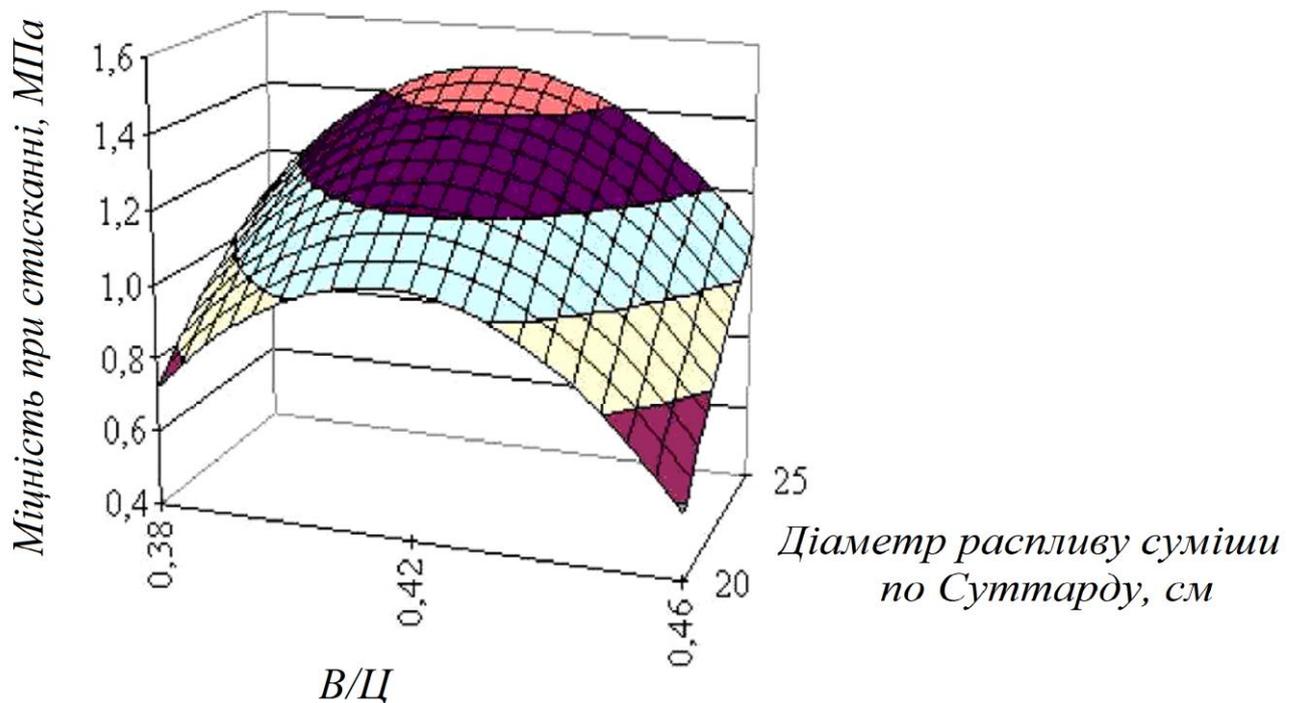


Рис. 3.34. Міцність при стиску пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розпливу вихідної суміші за Суттардом

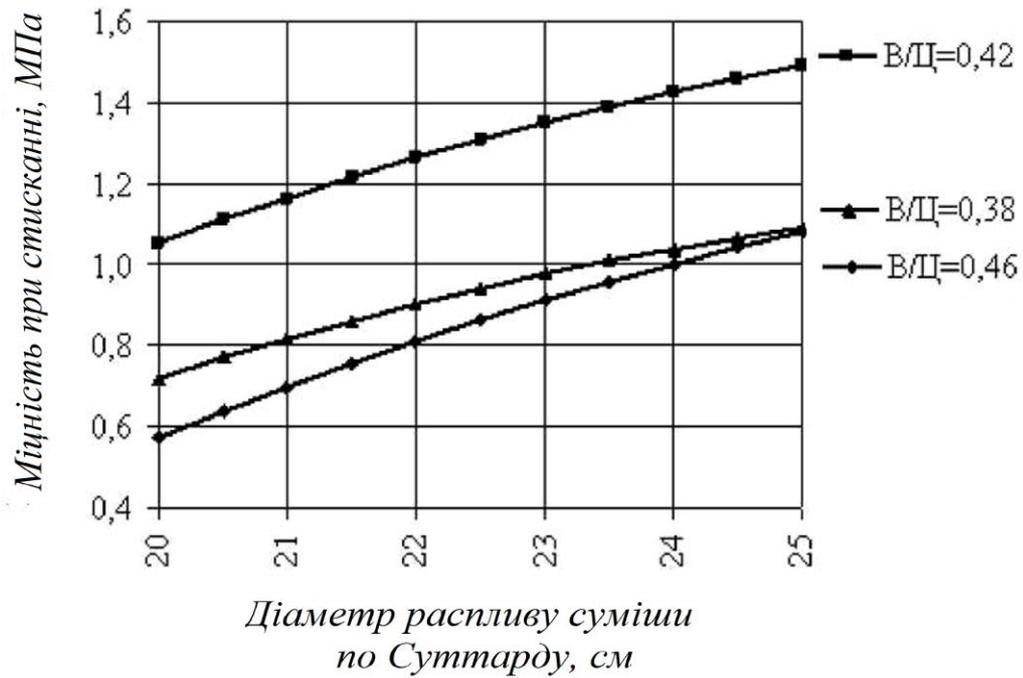


Рис. 3.35. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М» від розливу вихідної суміші за Суттардом

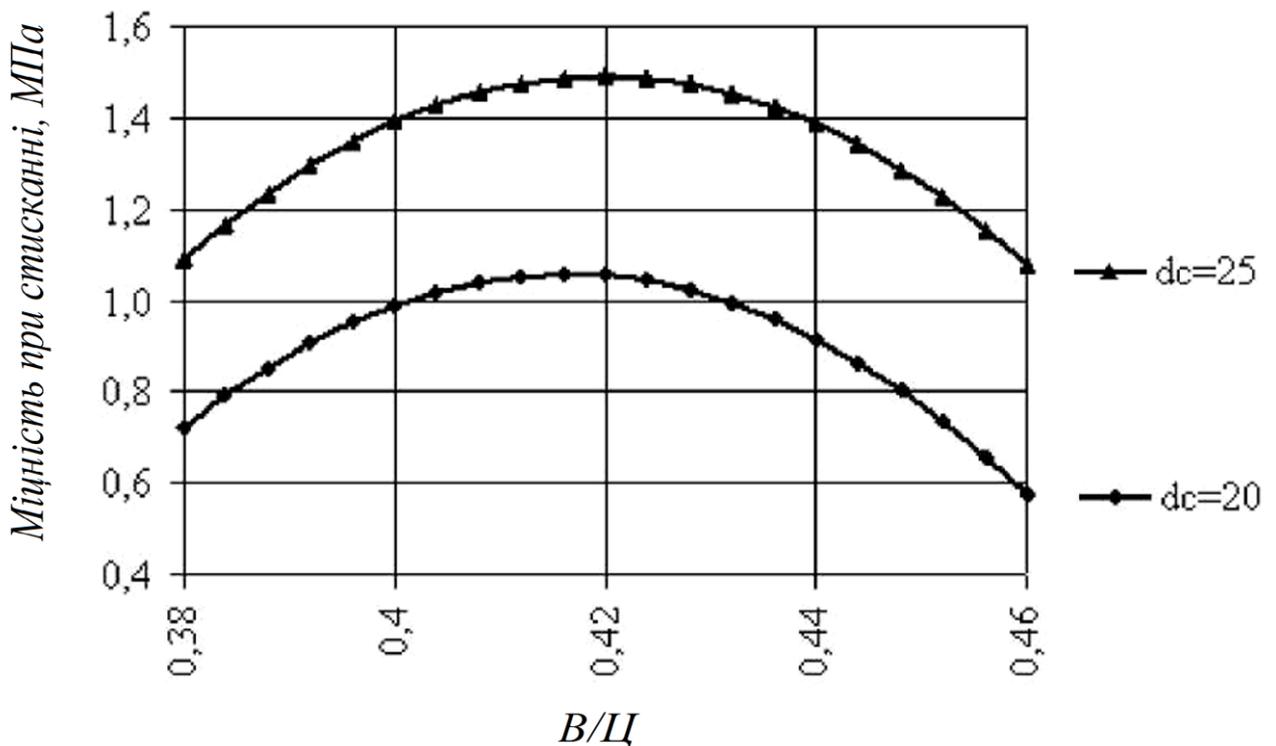


Рис. 3.36. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з суперпластифікатором і прискорювачем тверднення «Реламікс-М»:

$$Y=1,055-0,07X_1+0,578X_2+0,067X_1X_2-0,41X_1^2-0,14X_2^2, \quad (3.16)$$

де Y – міцність при стиску пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість суперпластифікатору та прискорювача тверднення «Реламікс-М».

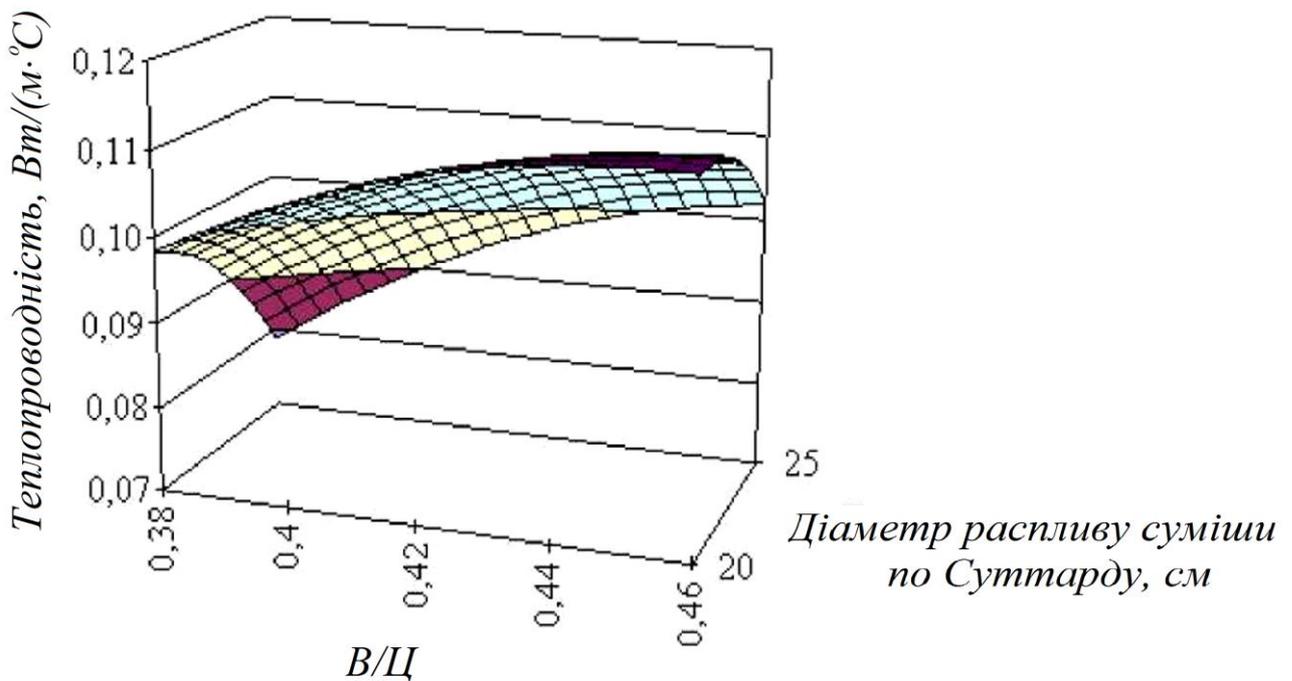


Рис. 3.37. Теплопровідність пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору та прискорювача тверднення «Реламікс-М» в залежності від водоцементного відношення і діаметра розпливу вихідної суміші за Суттардом

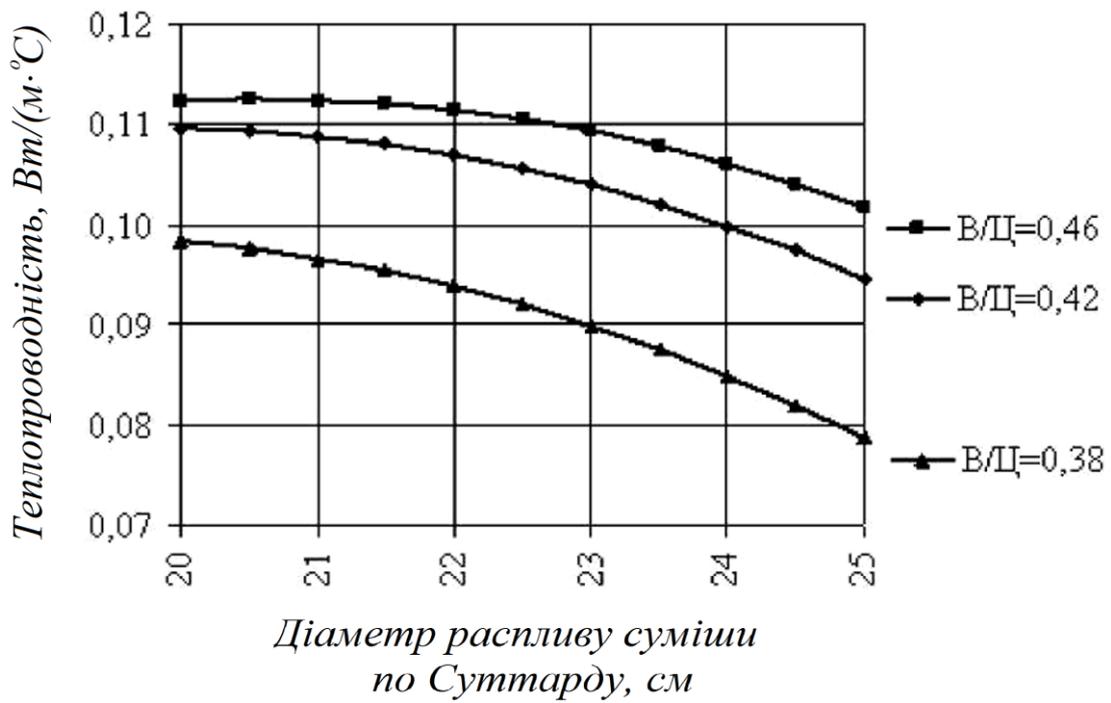


Рис. 3.38. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору та прискорювача тверднення «Реламікс-М» від розливу вихідної суміші за Суттардом

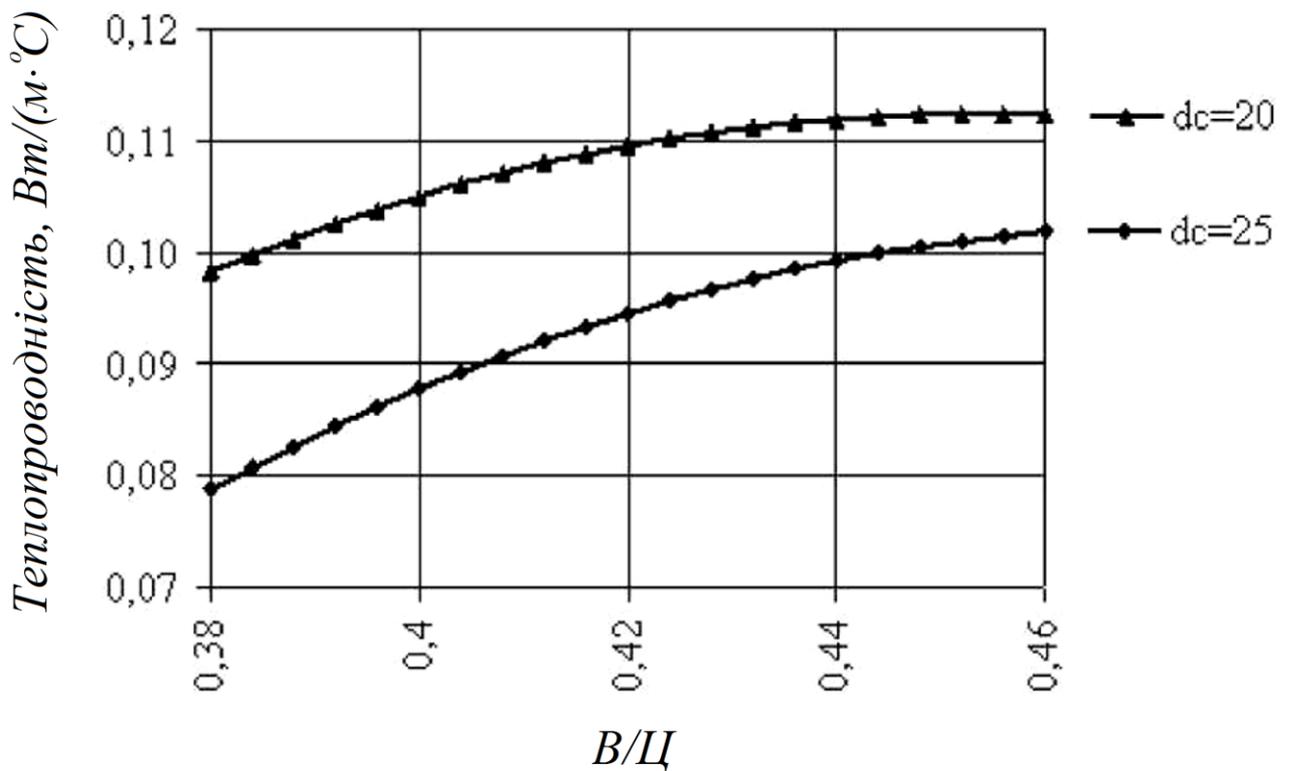


Рис. 3.39. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків з добавкою суперпластифікатору та прискорювача тверднення «Реламікс-М» від водоцементного відношення

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з суперпластифікатором і прискорювачем тверднення «Реламікс-М»:

$$Y=0,109597+0,006998X_1-0,00117X_2+0,0045X_1X_2-0,0043X_1^2-0,0138X_2^2, \quad (3.17)$$

де Y – теплопровідність пінобетону зразків, МПа;

X_1 – водоцементне відношення;

X_2 – кількість суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М».

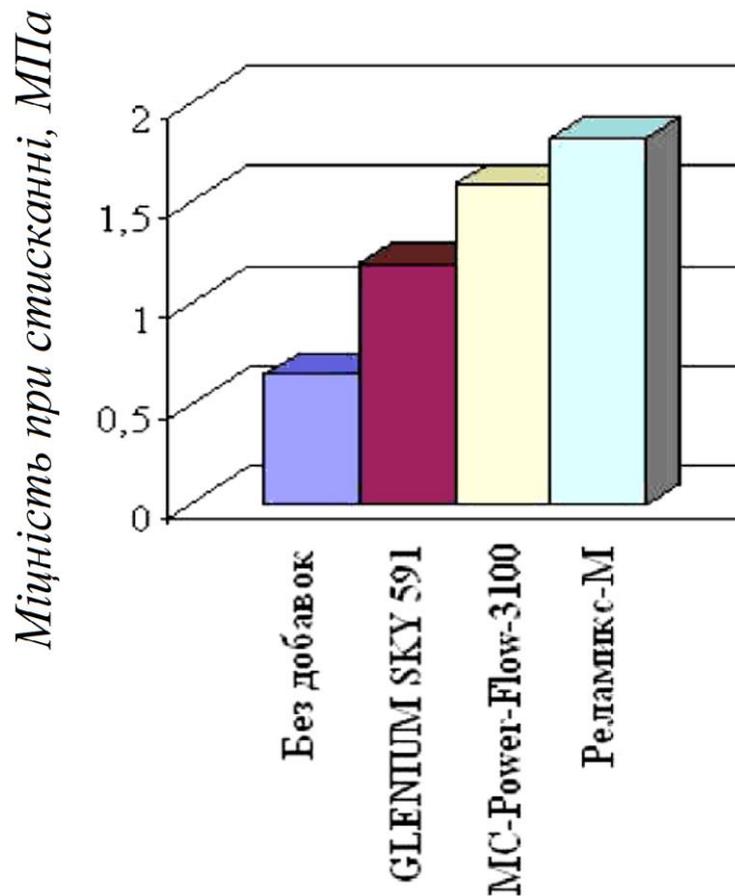


Рис. 3.40. Міцність при стиску пінобетонних зразків без добавок і з добавками пластифікаторів

Для контрольного пінобетонного зразка (без пластифікаторів) і зразків з пластифікуючими добавками був проведений рентгенофазового аналіз, результати якого зображені на рис. 3.41...3.44 і зведені в табл. 3.9.

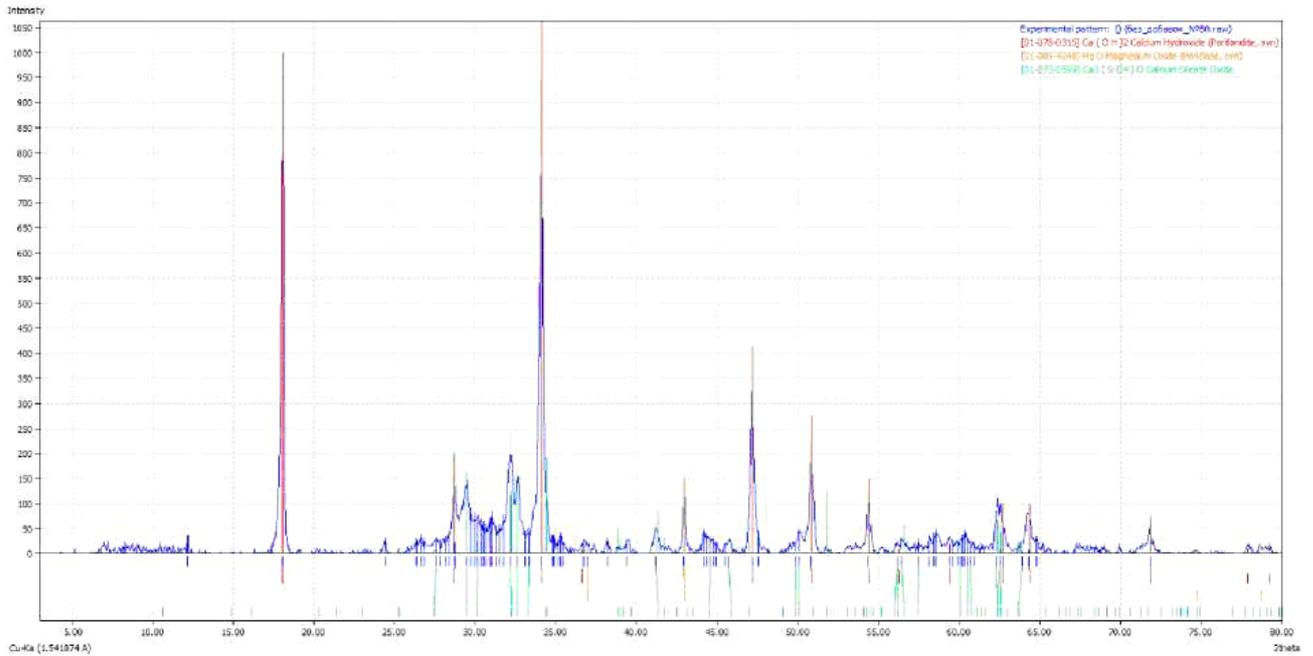


Рис. 3.43. Рентгенограма пінобетонного зразка без добавок (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / Ц = 0,52$)

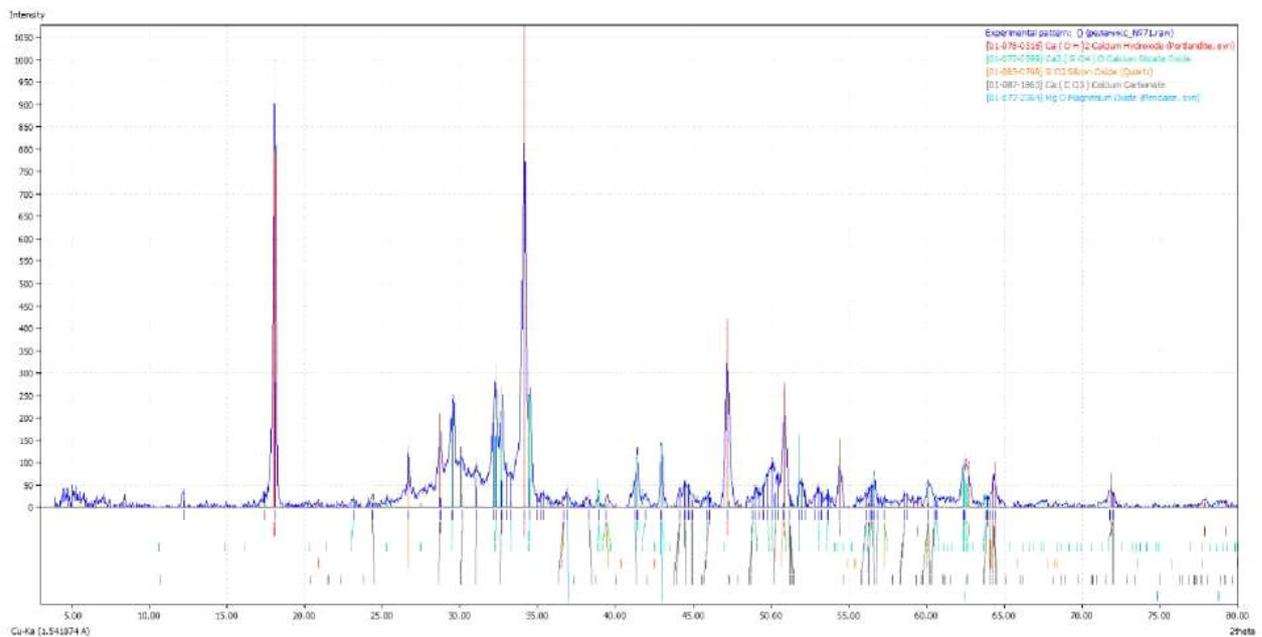


Рис. 3.44. Рентгенограма пінобетонного зразка з добавкою суперпластифікатору «Реламікс-М» (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / Ц = 0,42$)

Таблиця 3.9

Результати рентгенофазового аналізу контрольного пінобетонного зразка та зразків з пластифікуючими добавками

| Найменування зразку | Кількість сполук, % | |
|--|-----------------------|---------------------|
| | 3CaO-SiO ₂ | Ca(OH) ₂ |
| Без добавок – контрольний (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 29,81 | 60,31 |
| З добавкою «Реламікс-М» (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 31,06 | 49,70 |
| З добавкою «GLENIUM SKY 591» (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 35,46 | 56,17 |
| З добавкою «MC-Power-Flow-3100» (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 43,18 | 47,98 |

Висновки до розділу 3

Були досліджені такі властивості піноутворювачів різної природи і при різній концентрації їх водного розчину, як кратність, стійкість у часі, коефіцієнт використання піни.

Встановлено, що піна на синтетичному піноутворювачі при більшій кратності менш стійка, на відміну від протеїнового піноутворювача. Протеїновий піноутворювач «Омпор» володіє розріджуючою дією і надає в меншій мірі негативний вплив на міцність при стиску цементного каменю. Синтетичний піноутворювач «Пента Пав 430А» до концентрації 1,25% знижує рухливість цементного тіста, а при подальшому збільшенні концентрації піноутворювача відбувається поступове збільшення його рухливості.

Виведена закономірність, що дозволяє визначити міцність при стиску пінобетону від міцності його матриці в залежності від виду та кількості піноутворювача і середньої щільності пінобетону.

З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що походження піноутворювачів є важливим фактором, що впливає на отримання якісного пінобетону.

Для пластифікаторів були визначені водоредукуючі ефекти і коефіцієнти використання піни. Визначено їх вплив на фізико-механічні та теплотехнічні

характеристики пінобетону.

Встановлено, що:

– гіперпластифікатор на основі полікарбоксилатів «MC-Power-Flow-3100» володіє кращим пластифікуючим ефектом при низьких кількостях добавки в цементне тісто;

– пластифікатори роблять значний вплив на коефіцієнт використання піни (гіперпластифікатор «GLENIUM SKY 591» володіє «піногасячою» властивістю). Це необхідно враховувати при підборі складу пінобетонів з добавками пластифікаторів;

– застосування пластифікуючих добавок «Реламікс-М», «MC-Power-Flow-3100» і «GLENIUM SKY 591» призводить до зниження оптимальної рухливості розчину на 5 см в порівнянні зі стандартною рухливістю, що необхідно враховувати при розрахунку складу пінобетону;

– гранична кількість гіперпластифікаторів «MC-Power-Flow-3100» і «GLENIUM SKY 591» в розчинній суміші становить 1% від маси твердих речовин, а суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М» – 1,2% від маси твердих речовин при $B / Ц < 0,42$ і 1% при $B / Ц > 0,42$. Застосовувати дані пластифікуючі добавки понад вищевказаних величин не доцільно, тому що відбувається седиментація суміші;

– максимальний приріст міцності пінобетонних зразків при застосуванні суперпластифікатору і прискорювача тверднення «Реламікс-М» спостерігається з рухливістю розчинної суміші за Суттардом рівною 25 см і $B / Ц = 0,42$; при застосуванні гіперпластифікатору «GLENIUM SKY 591» – з рухливістю розчинної суміші за Суттардом рівною 25 см і $B / Ц = 0,38$; при застосуванні гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» – з рухливістю розчинної суміші за Суттардом рівною 25 см і $B / Ц = 0,46$;

– рентгенофазового аналіз встановив, що пластифікуючі добавки декілька уповільнюють гідратацію цементу. Відповідно до рис. 3.40, ріст міцності пінобетонних зразків, модифікованих пластифікаторами, обумовлений зростанням питомої поверхні продуктів гідратації, зменшенням розміру кристалів новоутворень і збільшенням їх кількості в одиниці об'єму пластифікованого цементного каменю.

РОЗДІЛ 4

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ ТА ПЛАСТИФІКАТОРУ В ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПІНОБЕТОНАХ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ І ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІНОБЕТОНУ

4.1. Мікрокремнезем в цементній системі

Швидкість взаємодії цементних зерен з водою залежить від сумарної поверхні зерен або їх питомої поверхні ($\text{см}^2 / \text{г}$). З підвищенням тонкості помелу цементу зростає швидкість процесів тверднення і збільшується міцність цементного каменю. При додаванні мікрокремнезему в розчинну суміш збільшується питома поверхня твердої фази, при цьому через його невисоку насипну щільності зменшується відкрита пористість, тобто збільшується товщина міжпорових перегородок, що згодом призводить до збільшення міцності готового пінобетону.

Висока дисперсність мікрокремнезему надає йому властивості ультрадисперсного наповнювача, що заповнює простір між зернами цементу. Розподіляючись в об'ємі розчинної суміші, реактивні мікрочастинки оточують зерна цементу, при цьому продукти гідратації заповнюють пустоти, структура цементного каменю ущільнюється, поліпшується зчеплення.

Частинки мікрокремнезему розсовують зерна гідратуючого цементу і прискорюють його гідратацію. Зерна мікрокремнезему створюють поверхні, на яких розташовуються гідратні новоутворення, що утворюються в результаті гідратації дисперсних зерен цементного клінкеру, що сприяє росту кристалів гідратних з'єднань та їх ущільненню.

Позитивний вплив мікрокремнезему на будову і фізико-механічні характеристики пінобетону визначаються двома причинами: пуцоланічною активністю мікрокремнезему і високою дисперсністю його частинок. Кремнезем, вступаючи в реакцію з гідроксидом кальцію, що вивільняється в процесі гідратації силікатних фаз цементу, утворює низькоосновні гідросилікати кальцію.

Хімічну активність в рідких середовищах мікрокремнезему надає присутність в ньому коеситу (coesite) – SiO_2 . Аморфна будова його частинок і надлишок вільної поверхневої енергії дають можливість протікання реакції між SiO_2 та CaO при температурах нижче 100°C , тобто не в автоклаві, а при нормальному тиску.

Пуцоланова реакція мікрокремнезему підсилює гідратацію силікату кальцію. Пориста структура бетонів з вмістом мікрокремнезему змінюється: кількість капілярних пор зменшується, а число найбільш дрібних гелевих пор, навпаки, збільшується. Посилення гідратації силікату кальцію і зменшення кількості капілярних пор надають бетону з вмістом мікрокремнезему підвищену міцність і непроникність.

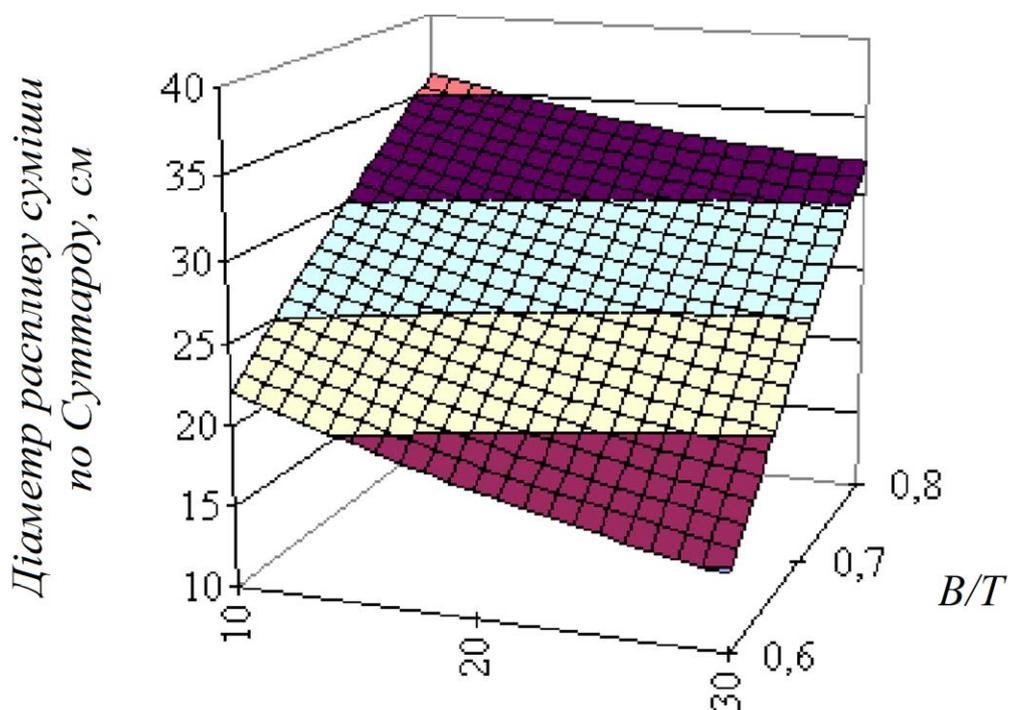
Розподіляючись по всьому об'єму, ультрадисперсні частинки мікрокремнезему ущільнюють і стабілізують суміш, знижуючи виділення води і розшарування.

Розвинена питома поверхня мікрокремнезему інтенсифікує утворення продуктів гідратації в ранній період тверднення. Формування С-S-H-гелю починається на поверхні зерен добавки. У початковий період поверхню частинок C_3S в меншій мірі екранується продуктами гідратації, в результаті цього реакція протікає з більшою швидкістю. Деякі дослідники вважають, що підвищення міцності бетону в присутності мікрокремнезему в більшій мірі обумовлено підвищенням когезійної міцності самого цементного гелю, а не збільшенням адгезії цементного гелю до заповнювача.

Введення добавки мікрокремнезему дозволяє знижувати витрату цементу і зменшує екзотермію бетону, що сприятливо позначиться при монолітному будівництві.

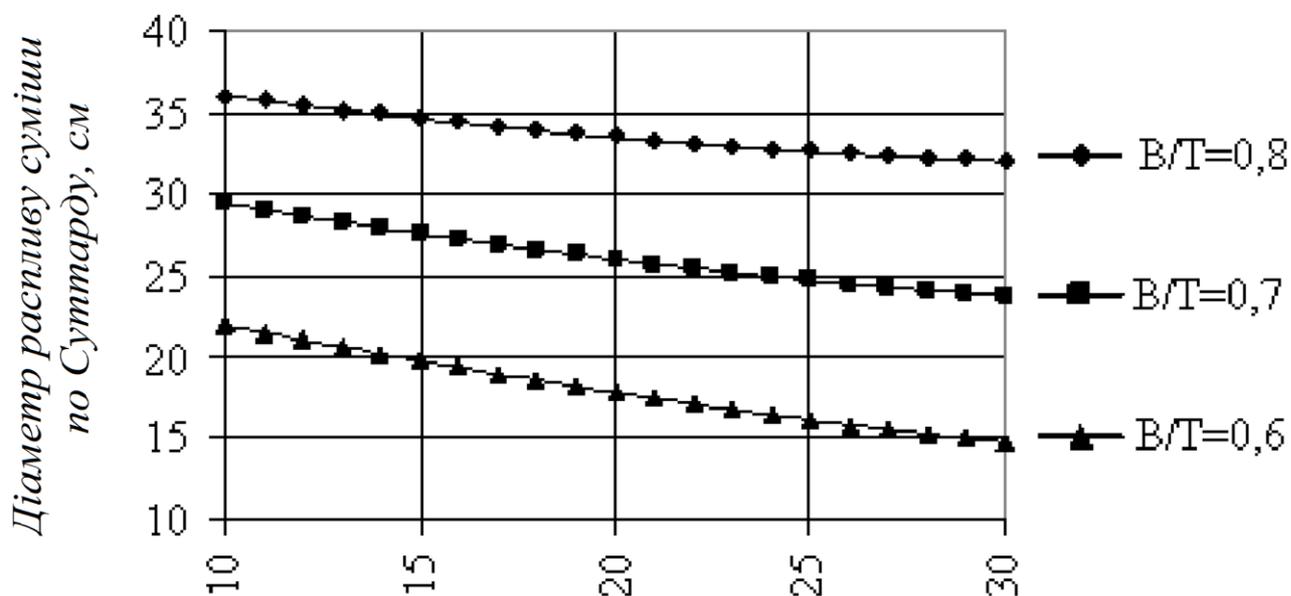
4.2. Вплив мікрокремнезему на рухливість розчинної суміші

Результати виявлення рухливості розчинної суміші при факторах X_1 – водотверде відношення (В/Т), X_2 – кількість мікрокремнезему в % від загальної кількості твердих речовин зображені на рис. 4.1...4.6.



*Кількість мікрокремнезему,
% від маси сухих компонентів*

Рис. 4.1. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) і водотвердого відношення (від 0,6 до 0,8)



*Кількість мікрокремнезему,
% від маси сухих компонентів*

Рис. 4.2. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему

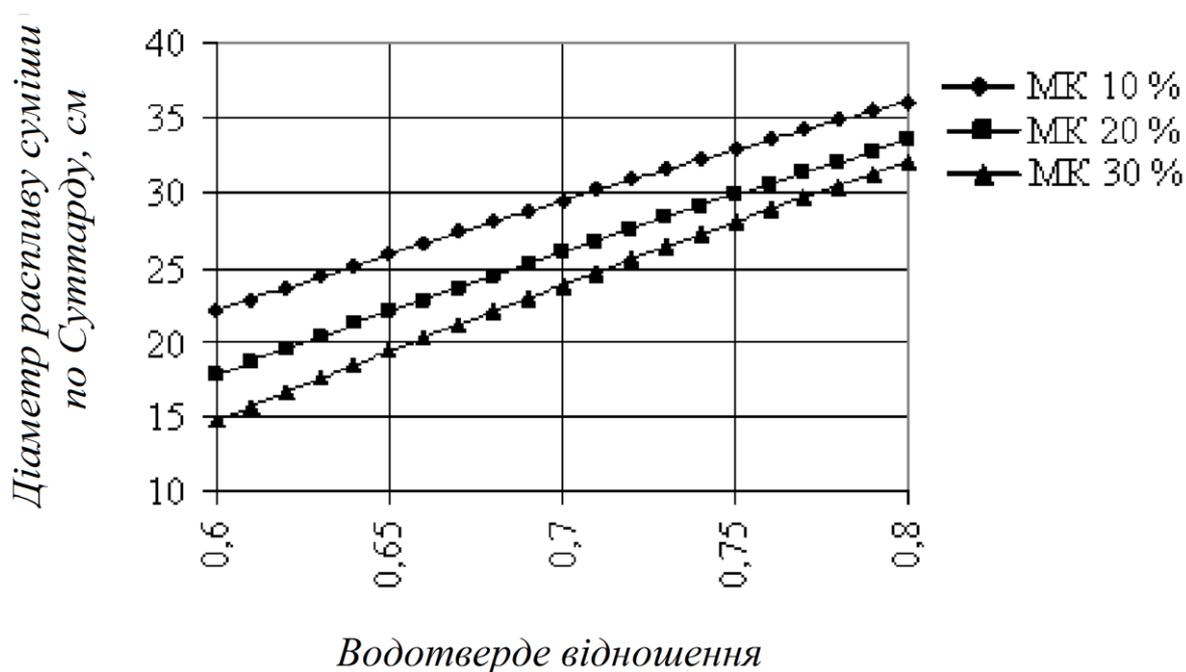


Рис. 4.3. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості від 10 до 30% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від водотвердого відношення

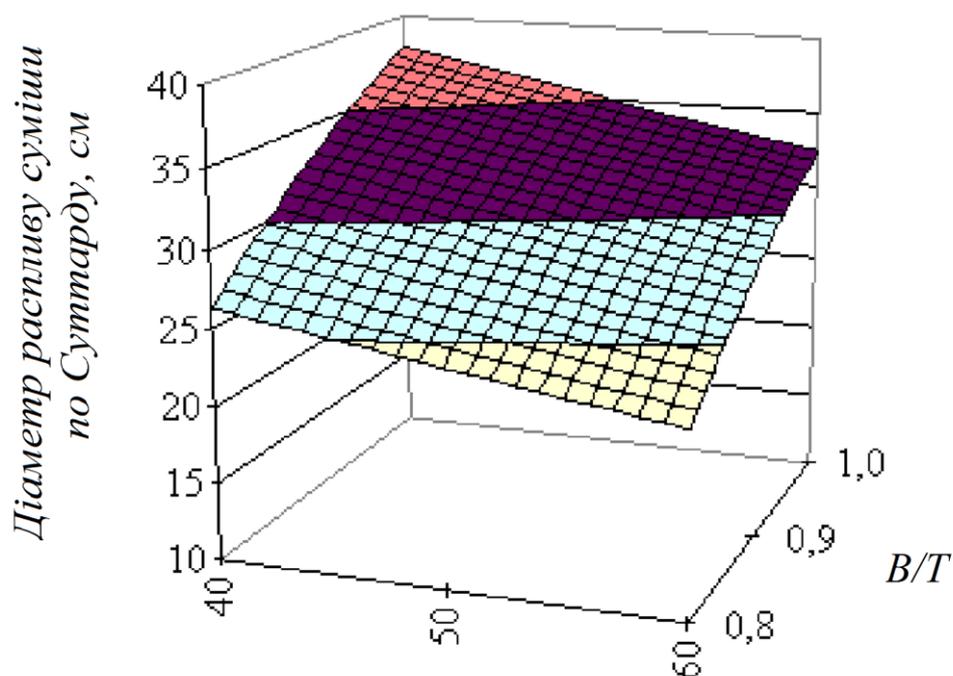
За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавкою від 10 до 30% мікрокремнезему і В / Т від 0,6 до 0,8:

$$Y=26,04+7,831X_1-2,83X_2+0,813X_1X_2-0,41X_1^2+0,591X_2^2, \quad (4.1)$$

де Y – діаметр розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – водотверде відношення;

X_2 – кількість мікрокремнезему, %.



*Кількість мікрокремнезему,
% від маси сухих компонентів*

Рис. 4.4. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 40% до 60%) і водотвердого відношення (від 0,8 до 1,0)

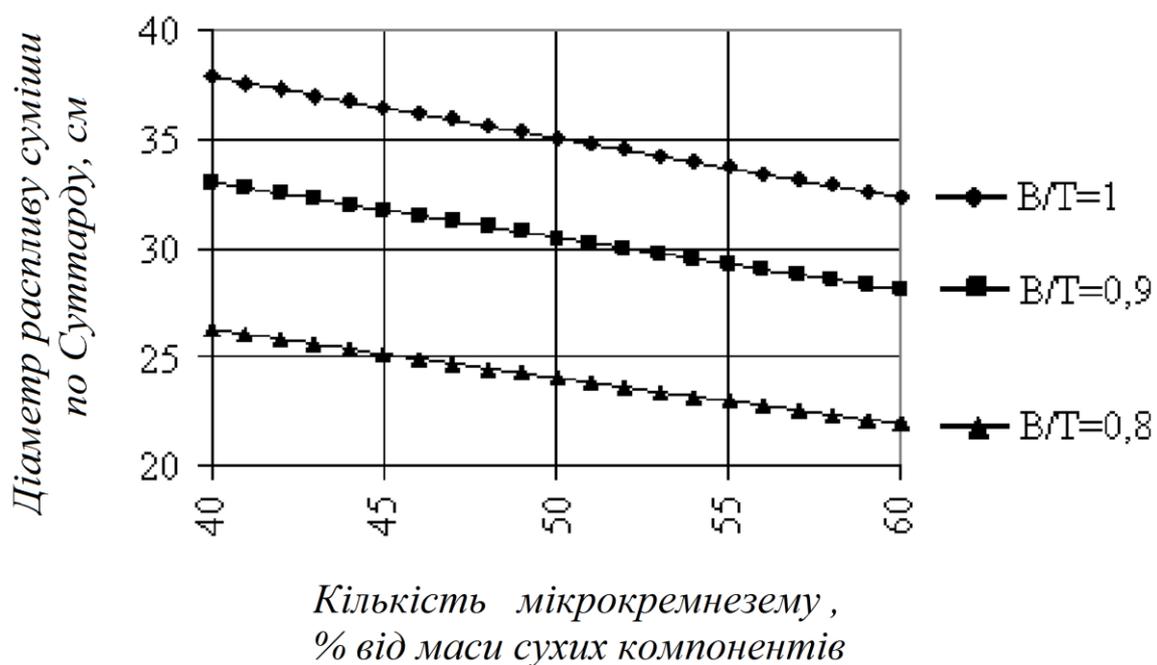


Рис. 4.5. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему

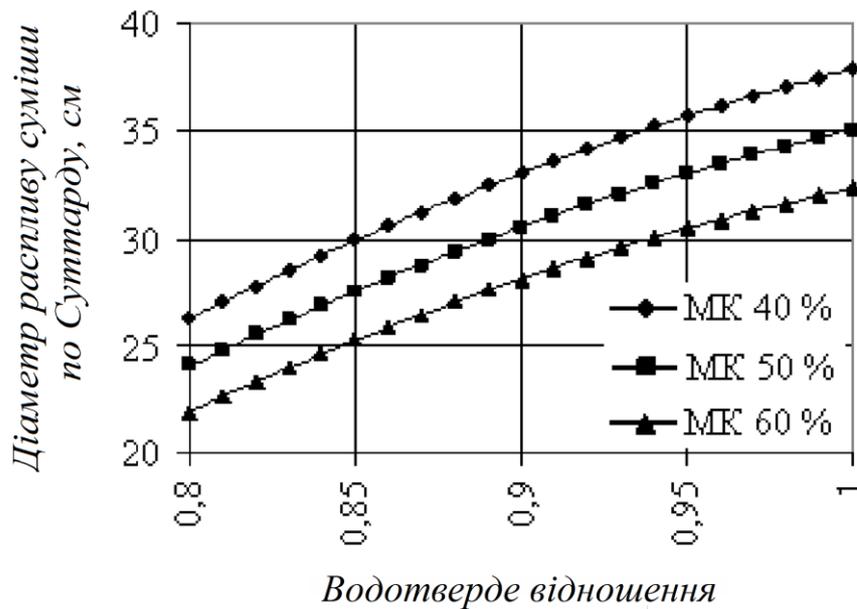


Рис. 4.6. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості від 40 до 60% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від водотвердого відношення

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавкою від 40 до 60% мікрокремнезёма і $V / T = 0,8-1,0$:

$$Y = 30,51 + 5,507X_1 - 2,47X_2 - 0,3X_1X_2 - 0,97X_1^2 + 0,059X_2^2 \quad (4.2)$$

де Y – діаметр розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – водотверде відношення;

X_2 – кількість мікрокремнезему, %.

4.3. Спільний вплив пластифікатору та мікрокремнезему на рухливість розчинної суміші

Добавка пластифікатору в розчинну суміш з мікрокремнеземом перешкоджає коагуляції частинок, дозволяючи більш рівномірно розподілитися часткам мікрокремнезема і цементу за об'ємом, тим самим, врівноважуючи систему. Також введення гіперпластифікатору в розчинну суміш з мікрокремнеземом знижує вологість готового пінобетону, що благотворно впливає на його довговічність.

Результати виявлення рухливості розчинної суміші при факторах X_1 – кількість мікрокремнезему, % від загальної кількості твердих речовин, X_2 – кількість гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» зображені на рис. 4.7...4.17.

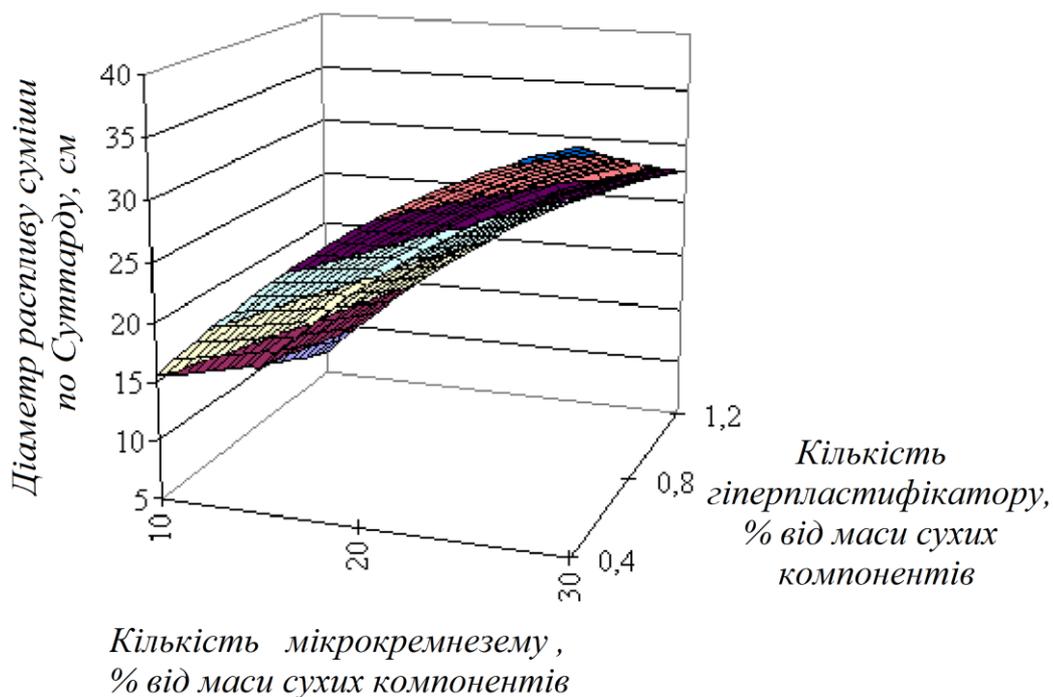


Рис. 4.7. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) та гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» (від 0,4 до 1,2%) при $V/T=0,38$

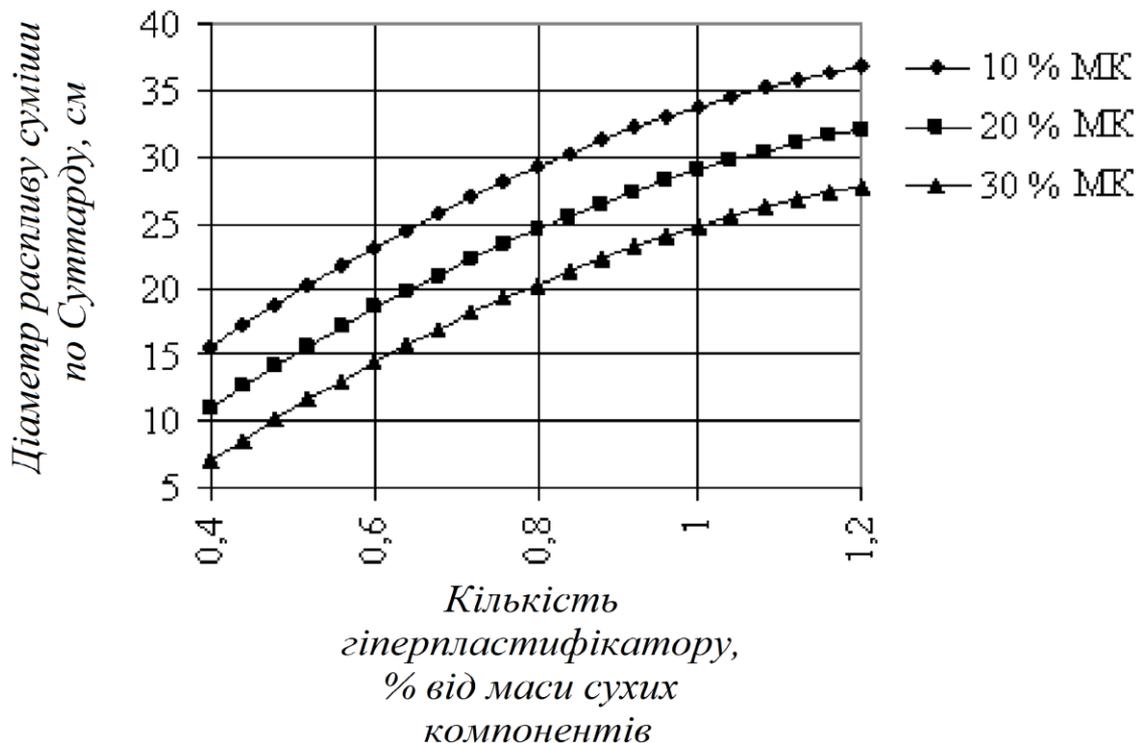


Рис. 4.8. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості від 10 до 30% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» при $V / T = 0,38$

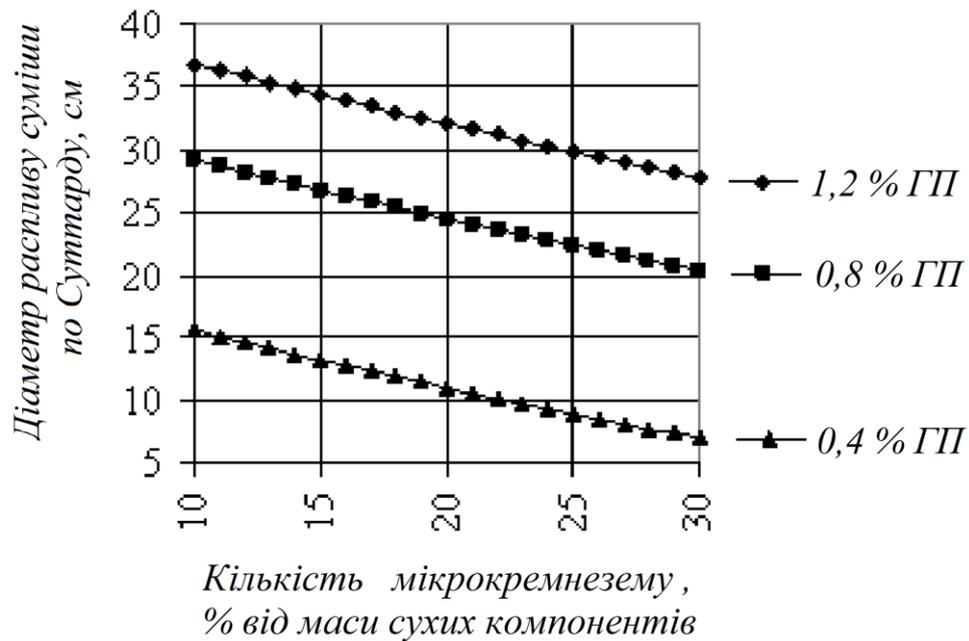


Рис. 4.9. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» від 0,4 до 1,2% від маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему при $V/T=0,38$

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавками від 10 до 30% мікрокремнезему і від 0,4 до 1,2% гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» при $V/T=0,38$:

$$Y=24,50979-4,41543X_1+10,49706X_2-0,125X_1X_2+0,2568X_1^2-2,9932X_2^2, \quad (4.3)$$

де Y – діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – кількість мікрокремнезему, %;

X_2 – кількість гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100».

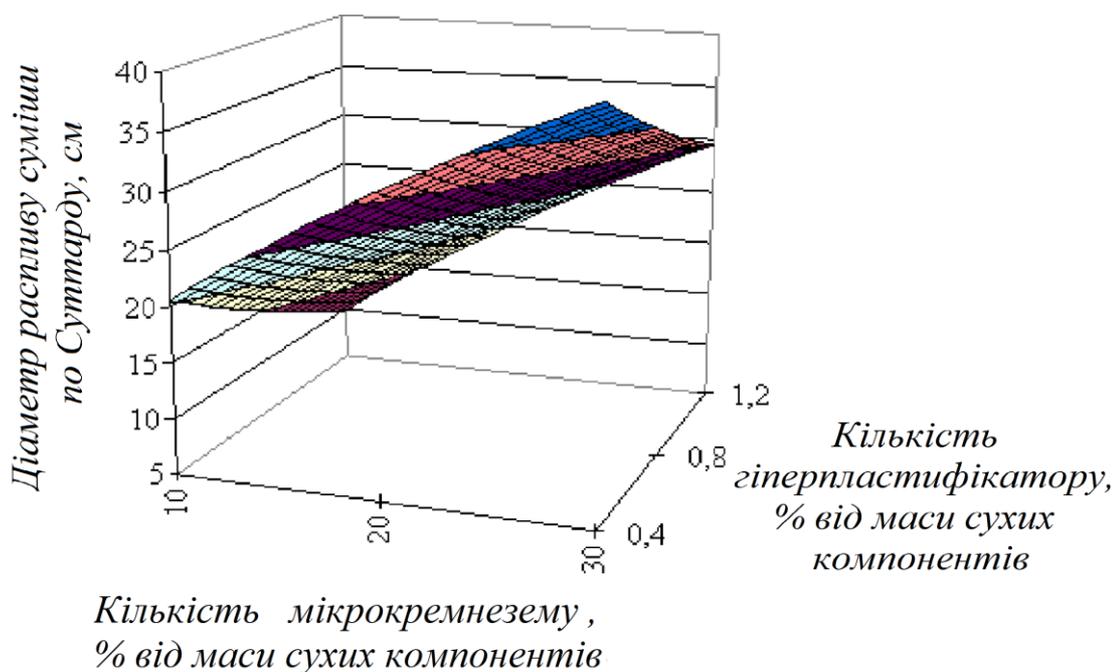


Рис. 4.10. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) та гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» (від 0,4 до 1,2%) при В/Т=0,42

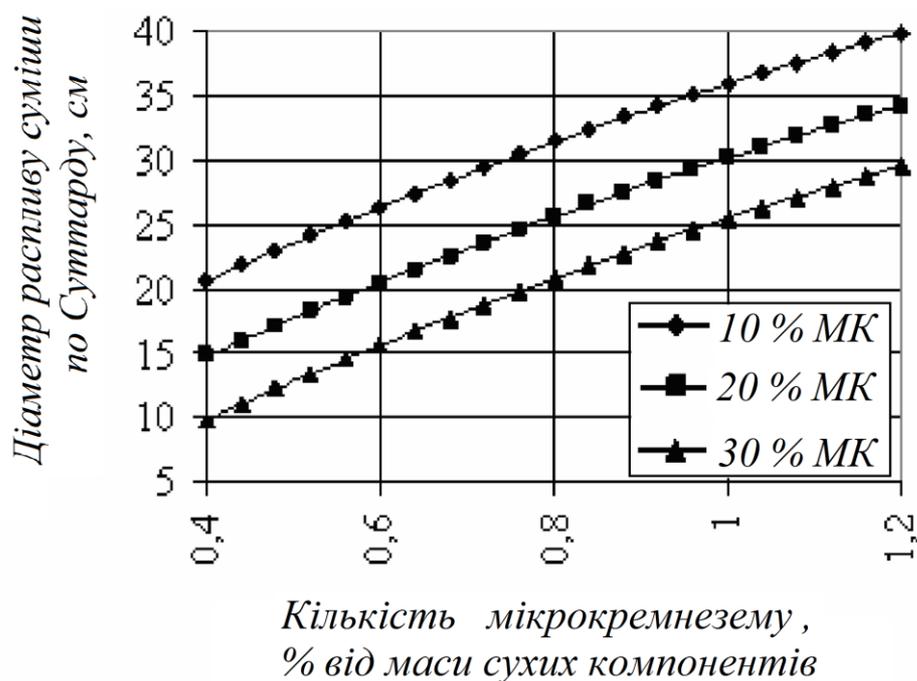


Рис. 4.11. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості від 10 до 30% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» при В/Т=0,42

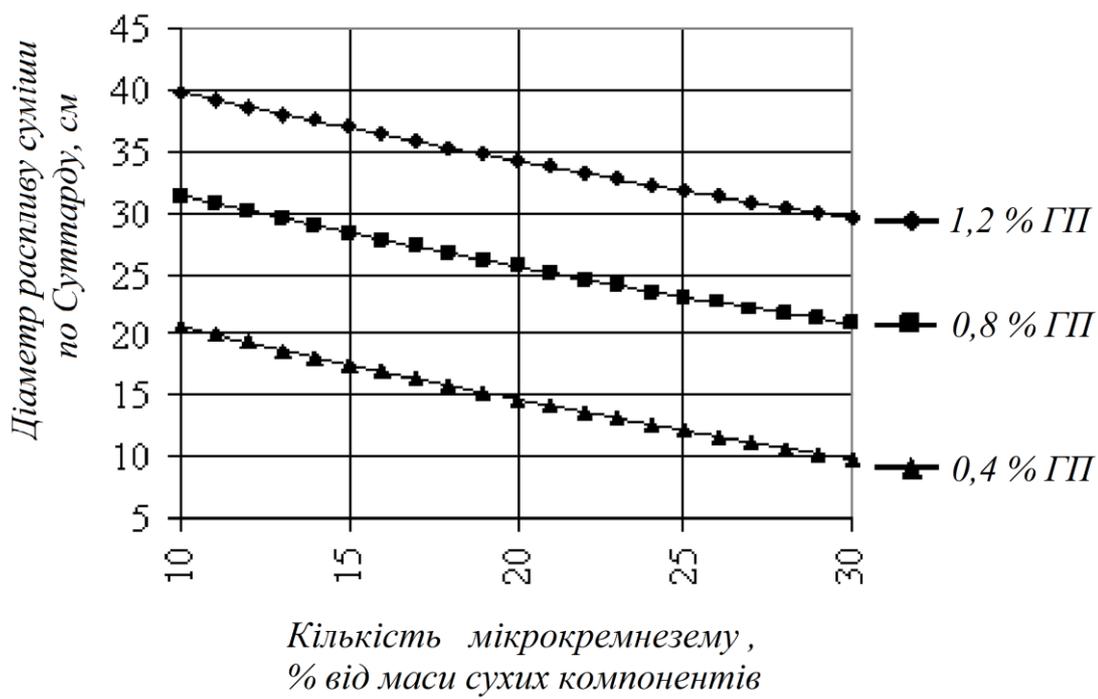


Рис. 4.12. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» від 0,4 до 1,2% від маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему при $V/T=0,42$

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавками від 10 до 30% мікрокремнезему і від 0,4 до 1,2% гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» при $V / T = 0,42$:

$$Y=25,62213-5,28185X_1+9,730608X_2+0,125X_1X_2+0,49088X_1^2-1,15912X_2^2, \quad (4.4)$$

де Y – діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – кількість мікрокремнезему, %;

X_2 – кількість гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100».

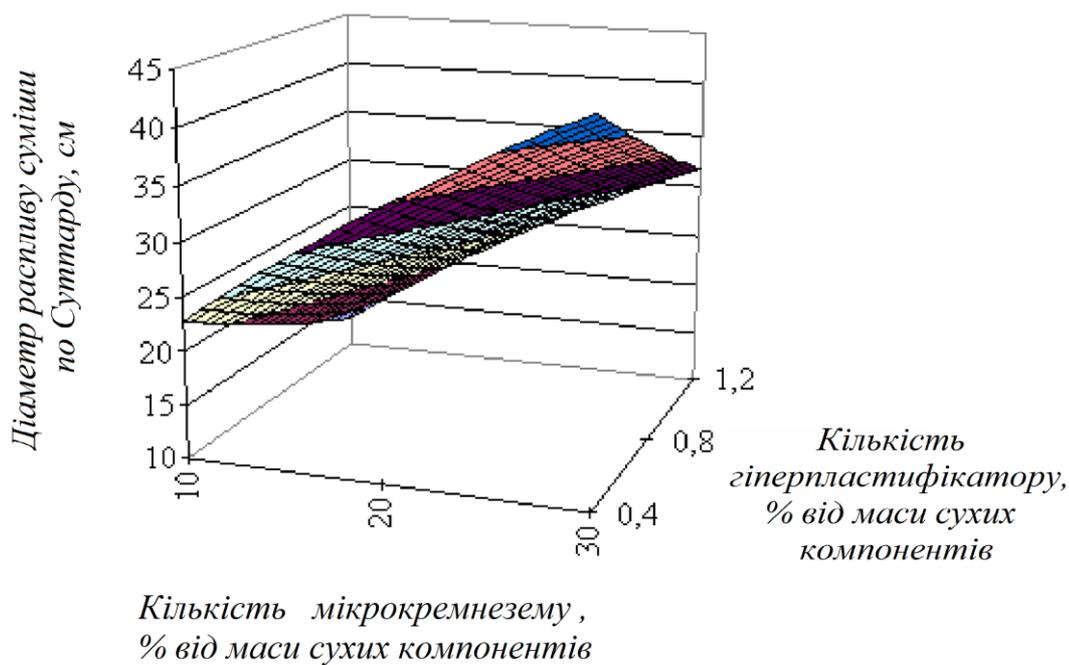


Рис. 4.13. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) і гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» (від 0,4 до 1,2%) при $V/T=0,46$

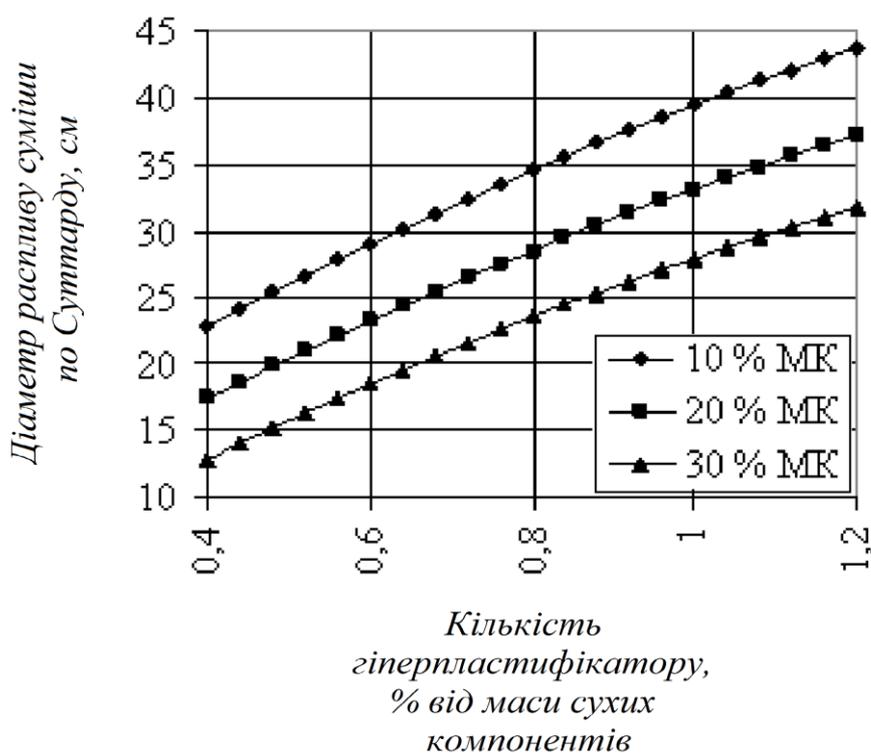


Рис. 4.14. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості 10...30% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» при $V/T=0,46$

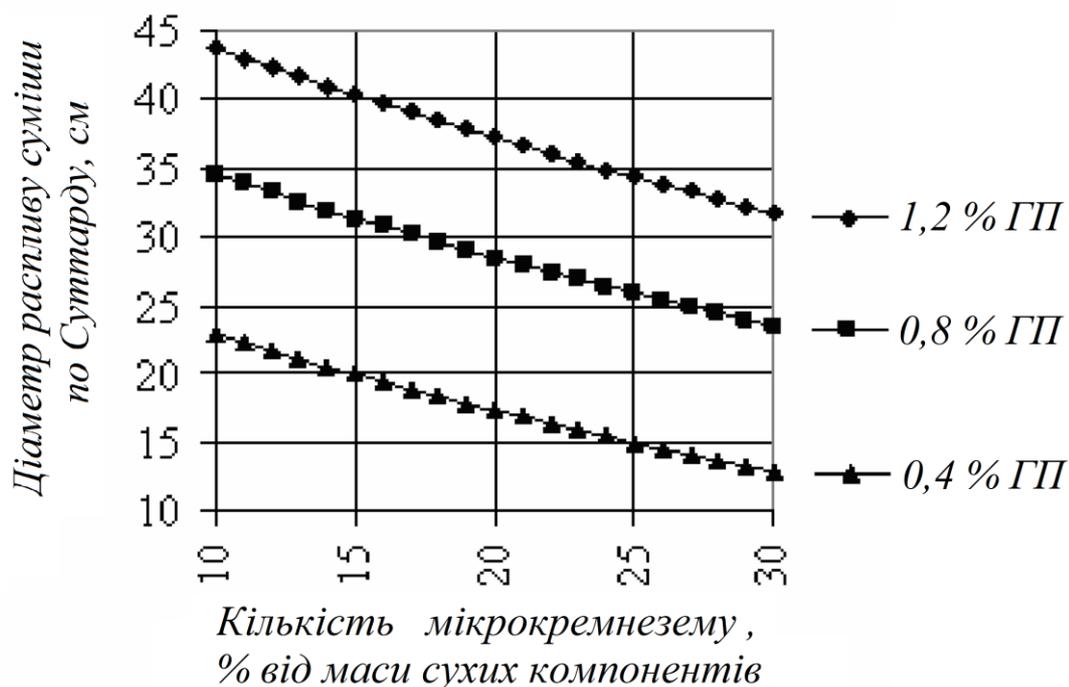


Рис. 4.15. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» від 0,4 до 1,2% від маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему при $V/T=0,46$

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавками від 10 до 30% мікрокремнезему та від 0,4 до 1,2% гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» при $V / T = 0,46$:

$$Y=28,51227-5,49846X_1+9,91389X_2-0,5X_1X_2+0,5084X_1^2-1,2416X_2^2, \quad (4.5)$$

де Y – діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – кількість мікрокремнезему, %;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «МС-Power-Flow- 3100».

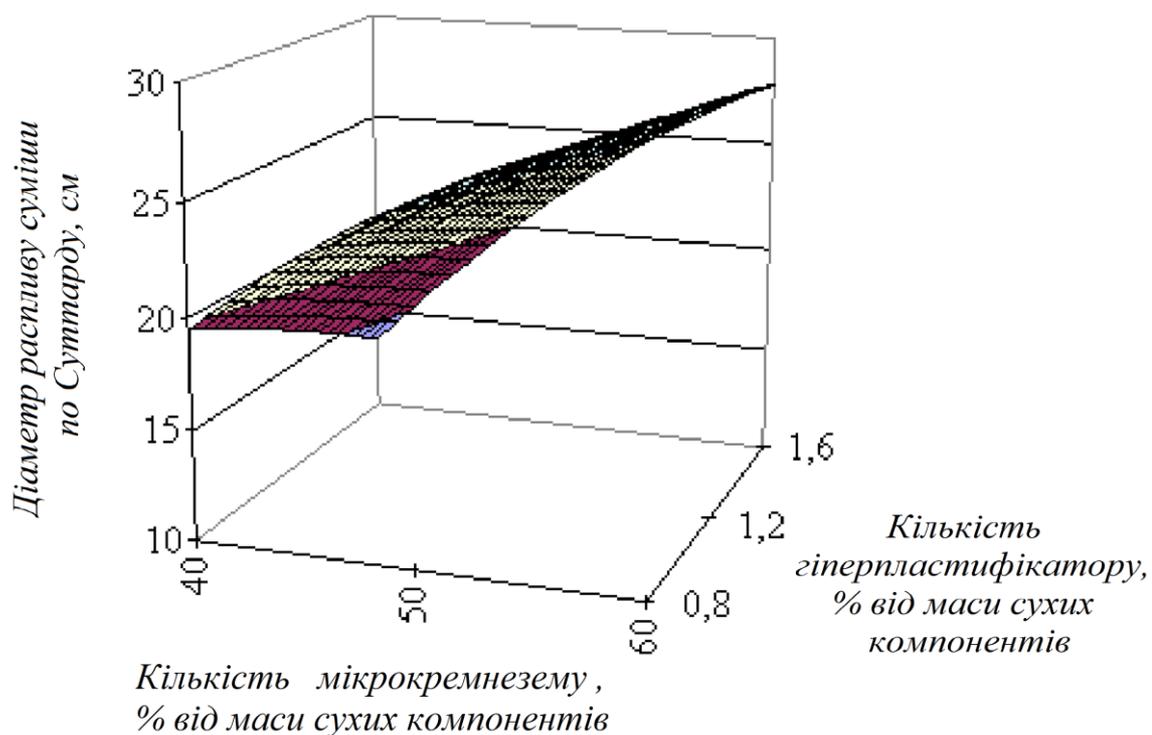


Рис. 4.16. Рухливість розчинної суміші в залежності від кількості мікрокремнезему (від 40% до 60%) і гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» (від 0,8 до 1,6%) при $V / T = 0,42$

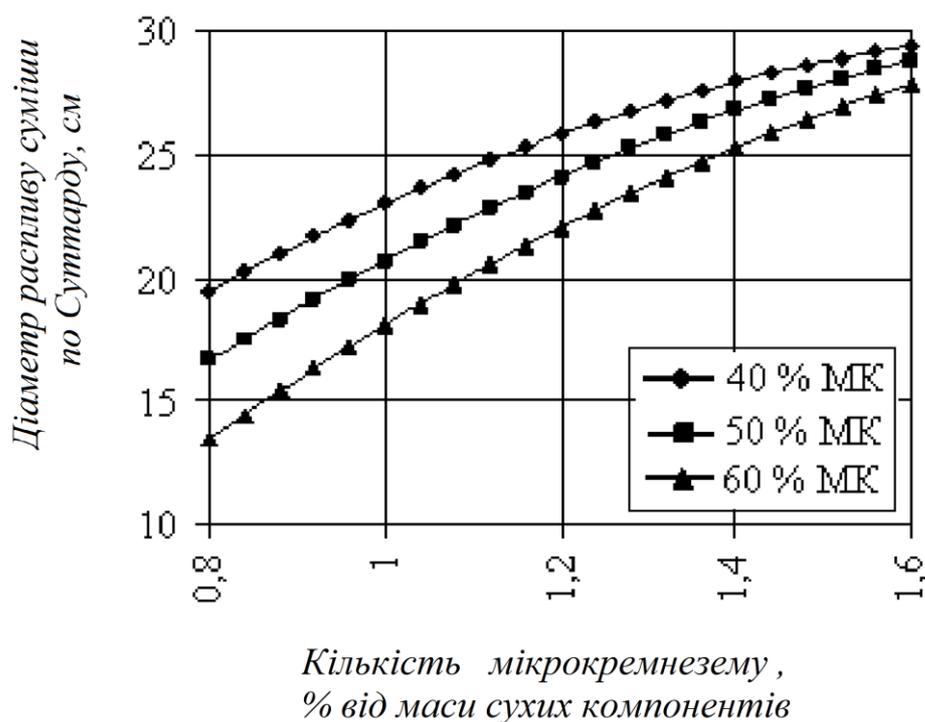


Рис. 4.17. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом мікрокремнезему в кількості від 40 до 60% від загальної маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» при $V / T = 0,42$

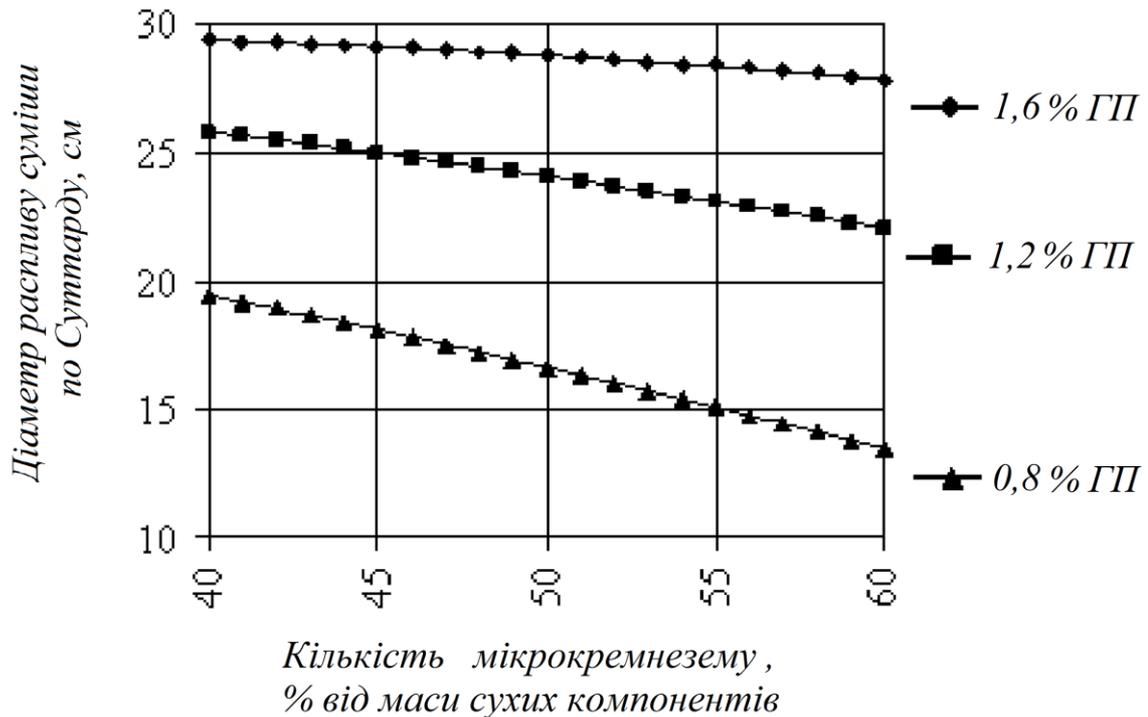


Рис. 4.18. Залежність діаметра розпливу розчинної суміші з вмістом гіперпластифікатора «МС-Power-Flow-3100» від 0,8 до 1,6% від маси твердих речовин за віскозиметром Суттарда від кількості мікрокремнезему при $V/T=0,42$

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для розчинної суміші з добавками від 40 до 60% мікрокремнезема і від 0,8 до 1,6% гіперпластифікатор «МС-Power-Flow-3100»:

$$Y=24,1-1,88X_1+6,082X_2+1,125X_1X_2-0,18X_1^2-1,38X_2^2, \quad (4.6)$$

де Y – діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом, см;

X_1 – кількість мікрокремнезему, %;

X_2 – кількість гіперпластифікатора «МС-Power-Flow- 3100».

4.4. Вплив добавки мікрокремнезему та комплексної добавки пластифікатора і мікрокремнезему на міцність при стиску, вологість і теплопровідність пінобетонних зразків

Для виявлення можливості використання у виробництві пінобетону

мікрокремнезему з фільтрів, а також вплив комплексної добавки мікрокремнезему і гіперпластифікатору «МС-Power-Flow- 3100» на міцність при стиску, вологість і теплопровідність пінобетону була проведена серія експериментів . Зразки виготовлялися з введенням піноутворювача Пента ПАР 430 А. Відомо, що введення до 30% мікрокремнезему в пінобетон підвищує його міцність до 40%. Вміст мікрокремнезему в складі пінобетону варіювалося в діапазоні від 10 до 60%. Кількість гіперпластифікатору підбиралось таким чином, щоб діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом становив 25 см.

На першому етапі досліджень було визначено оптимальне водотверде відношення (В / Т) в суміші з мікрокремнеземом.

Результати досліджень представлені в табл. 4.1 і на рис.4.19...4.24.

Таблиця 4.1

Фізико-механічні характеристики пінобетонних зразків з добавками мікрокремнезему в кількості від 10 до 30% і гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» при В/Т 0,38, 0,42, 0,46 (діаметр розпливу розчинної суміші за Суттардом становив 25 см)

| В/Т | Кількість мікрокремнезему, % від маси цементу | Кількість пластифікатору, % від маси сухих компонентів | Середня щільність, кг/м ³ | Міцність при стиску, МПа | Вологість, % | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м·°С) |
|------|---|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------|--|
| 0,38 | 10 | 0,64 | 400 | 0,87 | 20,8 | 0,097 |
| | 20 | 0,84 | 410 | 0,80 | 19,2 | 0,109 |
| | 30 | 1,04 | 410 | 1,15 | 24,0 | 0,107 |
| 0,42 | 10 | 0,56 | 410 | 1,34 | 16,4 | 0,105 |
| | 20 | 0,78 | 410 | 1,21 | 24,1 | 0,110 |
| | 30 | 0,98 | 400 | 1,42 | 25,0 | 0,106 |
| 0,46 | 10 | 0,47 | 410 | 1,01 | 24,1 | 0,098 |
| | 20 | 0,67 | 400 | 0,88 | 24,9 | 0,089 |
| | 30 | 0,87 | 410 | 0,82 | 31,4 | 0,084 |

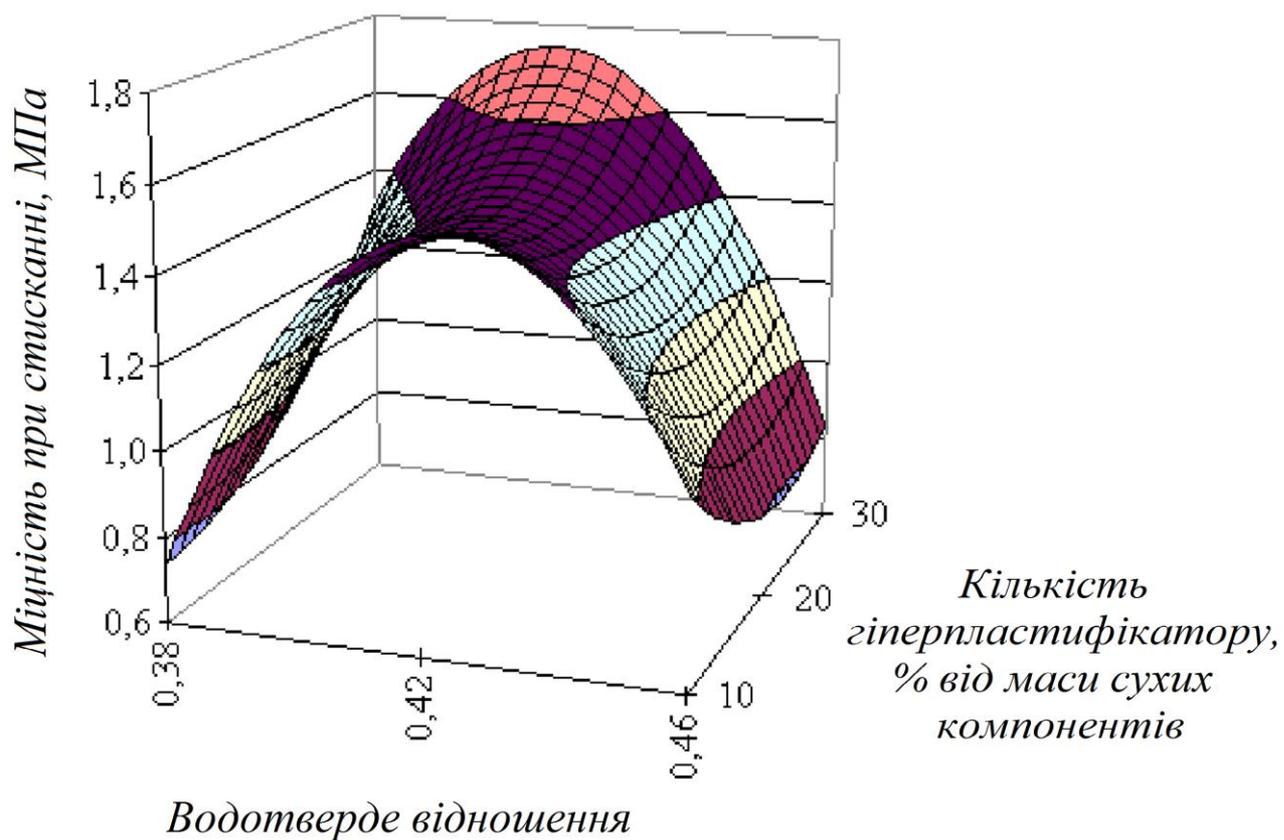


Рисунок 4.19. Міцність при стиску пінобетонних зразків в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) і водотвердого відношення

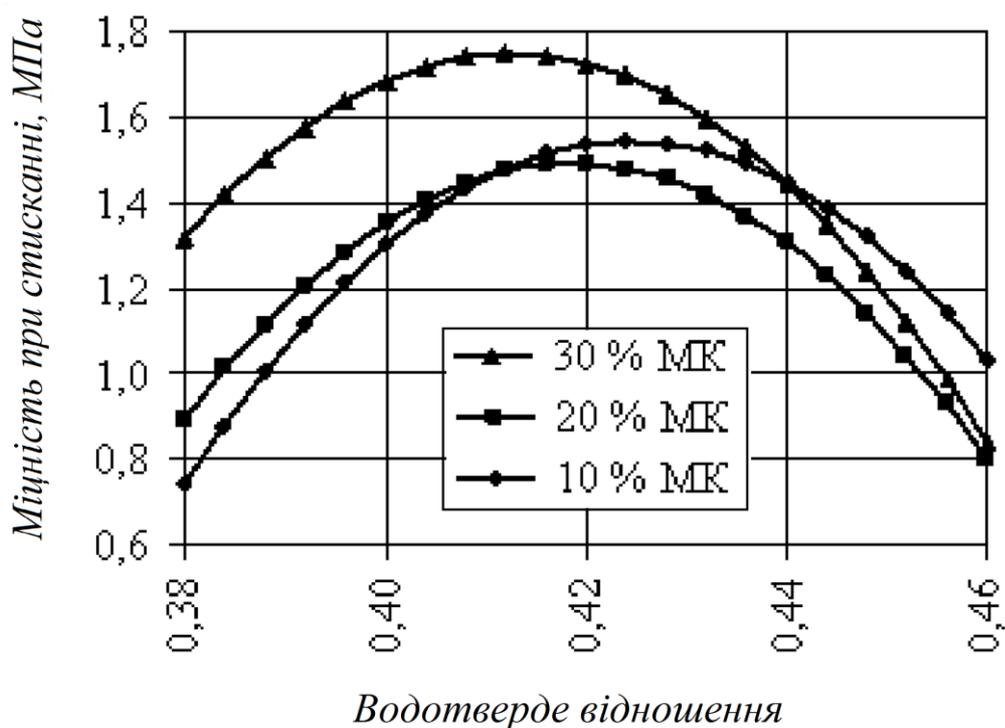


Рис. 4.20. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків від водотвердого відношення



Рис. 4.21. Залежність міцності при стиску пінобетонних зразків від кількості мікрокремнезему

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з добавками від 10 до 30% мікрокремнезему:

$$Y=1,492+0,095X_1-0,05X_2-0,19X_1X_2+0,139X_1^2-0,65X_2^2, \quad (4.7)$$

де Y – міцність при стиску пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – кількість мікрокремнезему, % від маси сухих компонентів;

X_2 – водотверде відношення.

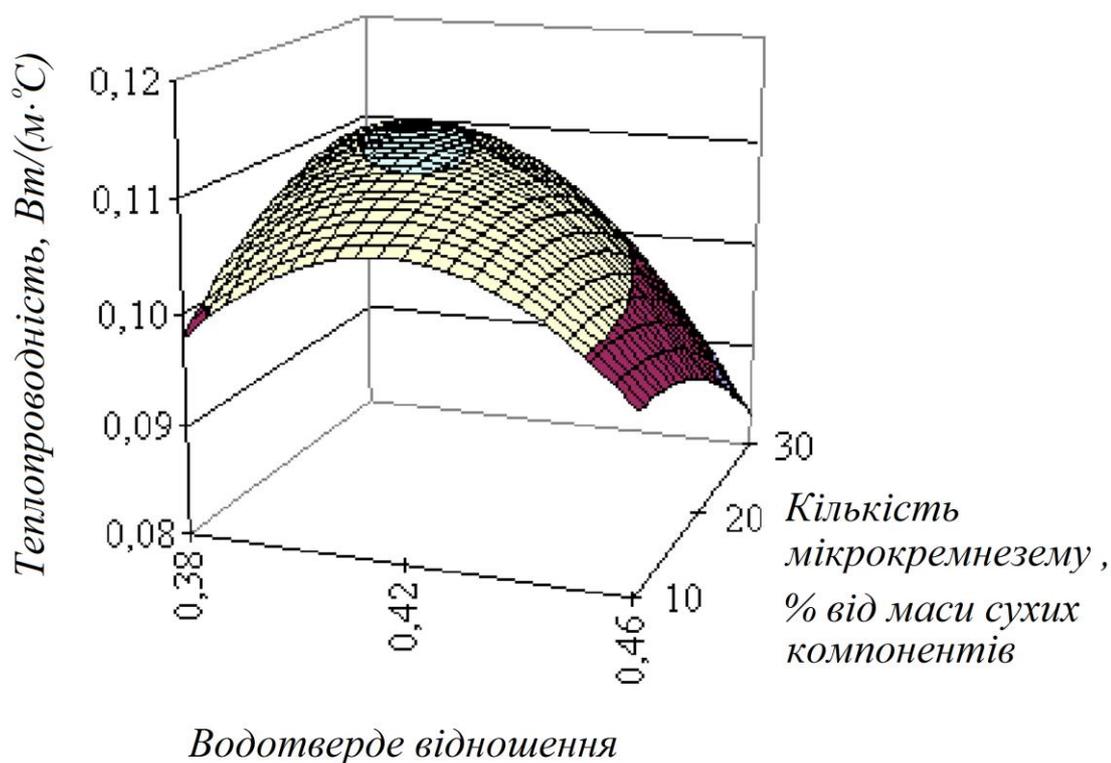


Рис. 4.22. Теплопровідність пінобетонних зразків в залежності від кількості мікрокремнезему (від 10% до 30%) і водотвердого відношення

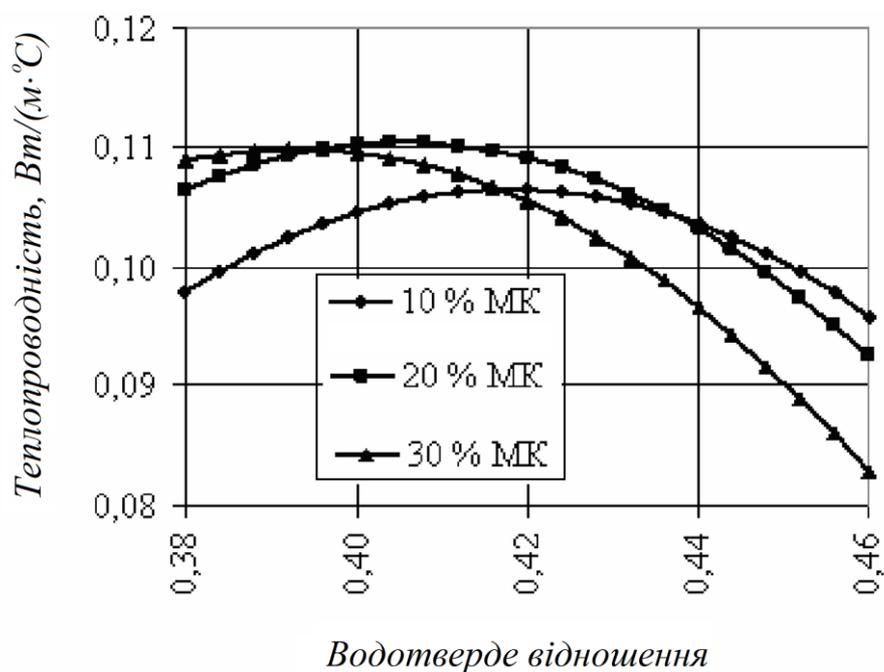


Рис. 4.23. Залежність теплопровідності пінобетону зразків від водотвердого відношення

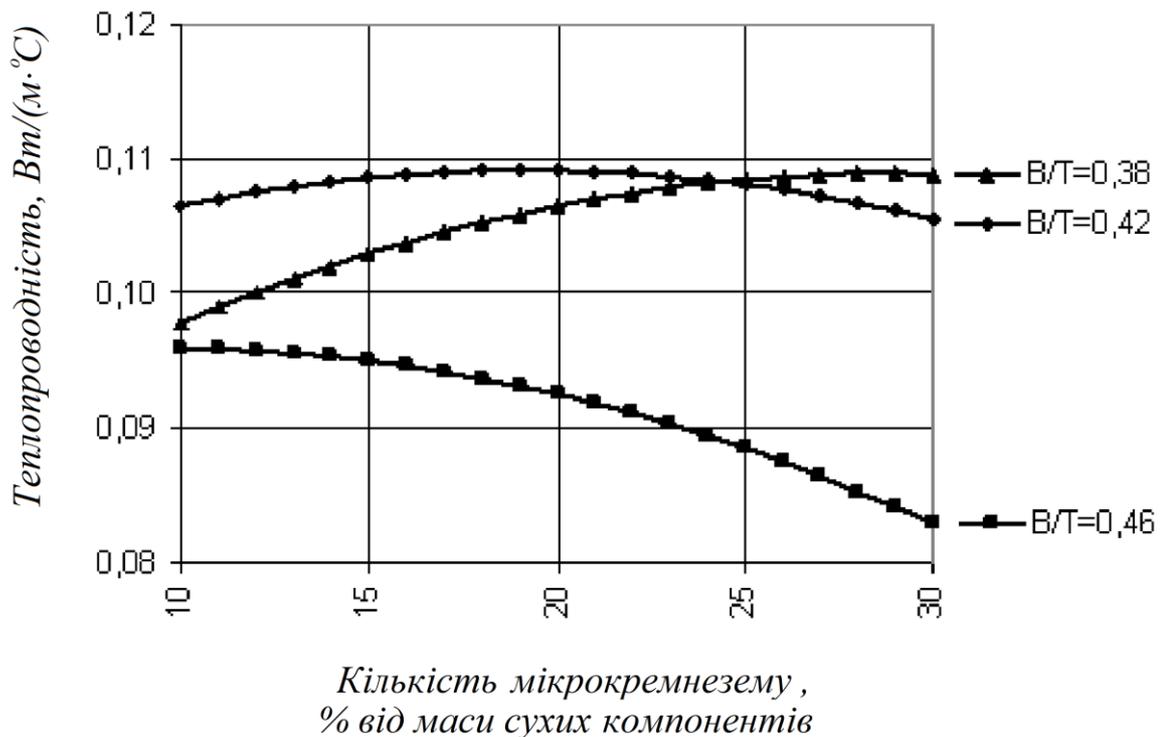


Рис. 4.24. Залежність теплопровідності пінобетонних зразків від кількості мікрокремнезему

За результатами випробувань отримано рівняння регресії з нормованими перемінними для пінобетонних зразків з добавками від 10 до 30% мікрокремнезему:

$$Y=0,109155-0,0005X_1-0,007X_2-0,006X_1X_2-0,00314X_1^2-0,00964X_2^2, \quad (4.8)$$

де Y – теплопровідність пінобетонних зразків, МПа;

X_1 – кількість мікрокремнезему, % від маси сухих компонентів;

X_2 – водотверде відношення.

Вивчивши дані табл. 4.1, для подальших досліджень було прийнято $V/T=0,42$. Результати подальших досліджень по визначенню впливу кількості мікрокремнезему (до 60% від маси твердих компонентів) на вологість, міцність при стиску і теплопровідність в сухому стані наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Фізико-механічні характеристики пінобетону з добавкою мікрокремнезему в кількості 0-60% і комплексною добавкою мікрокремнезему і гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100»

| Кількість мікрокремнезему, % | Без гіперпластифікатору | | | | З гіперпластифікатором | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------|--|--------------|
| | Середня щільність, кг/м ³ | Вологість, % | Міцність при стиску, МПа | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м·°С) | Вологість, % | Міцність при стиску, МПа | Теплопровідність в сухому стані, Вт/(м·°С) | Вологість, % |
| 0 | 440 | 29,0 | 0,64 | 0,106 | 450 | 19,5 | 1,19 | 0,096 |
| 10 | 450 | 33,5 | 1,53 | 0,088 | 440 | 16,4 | 1,55 | 0,105 |
| 20 | 450 | 38,3 | 1,98 | 0,120 | 450 | 24,1 | 1,47 | 0,110 |
| 30 | 450 | 41,1 | 2,08 | 0,120 | 440 | 25,0 | 1,73 | 0,106 |
| 40 | 440 | 40,8 | 1,42 | 0,105 | 450 | 14,5 | 1,39 | 0,086 |
| 50 | 450 | 46,8 | 1,32 | 0,107 | 450 | 16,3 | 2,61 | 0,123 |
| 60 | 450 | 50,4 | 1,06 | 0,119 | 450 | 15,3 | 2,52 | 0,112 |

Для контрольного пінобетонного зразка (без добавок) і зразків з добавками мікрокремнезему в кількості 30 і 50%, а також комплексною добавкою мікрокремнезему і гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» був проведений рентгенофазовий аналіз, результати якого зображені на рис. 4.25...4.29 і зведені в табл. 4.3.

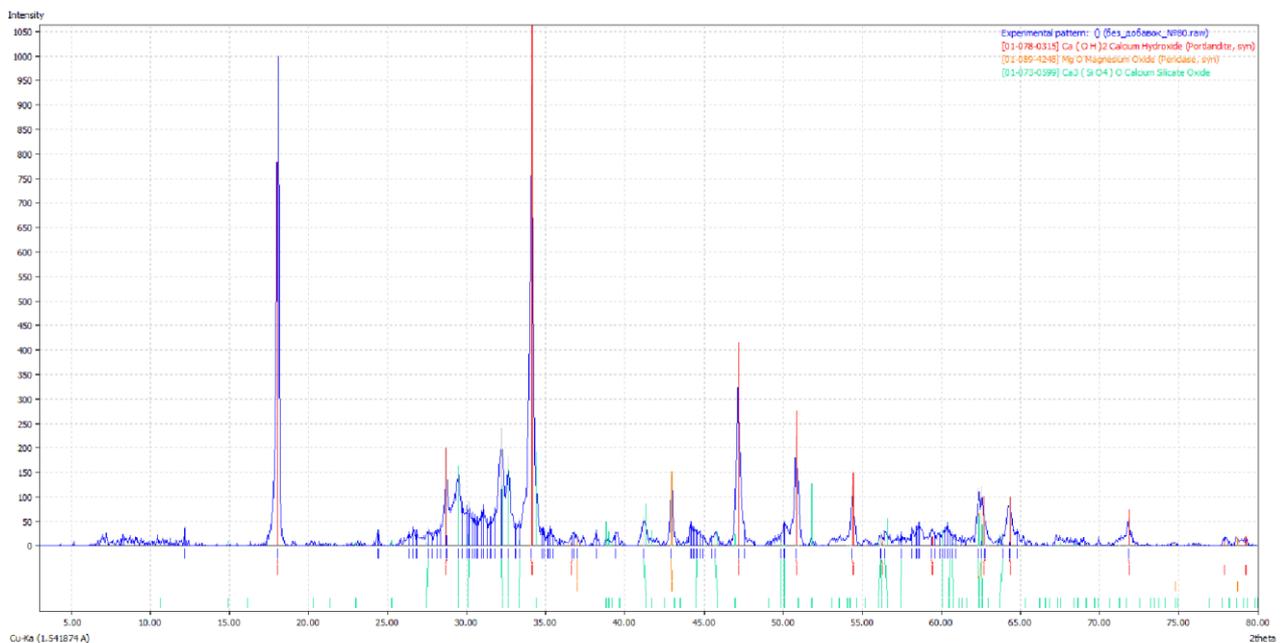


Рис. 4.25. Рентгенограма пінобетонного зразка без добавок (діаметр розпливу суміші за Сутгардом 25 см і В / Ц = 0,52)

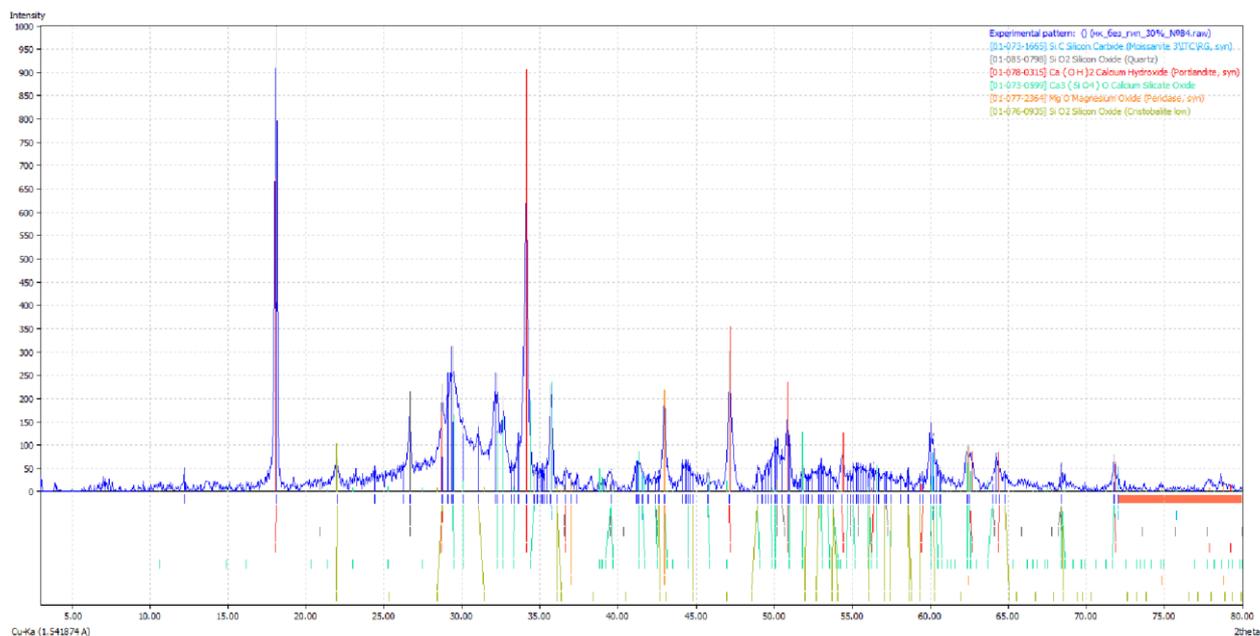


Рис. 4.26. Рентгенограма пінобетонного зразка з добавкою 30% мікрокремнезему (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / T = 0,715$)

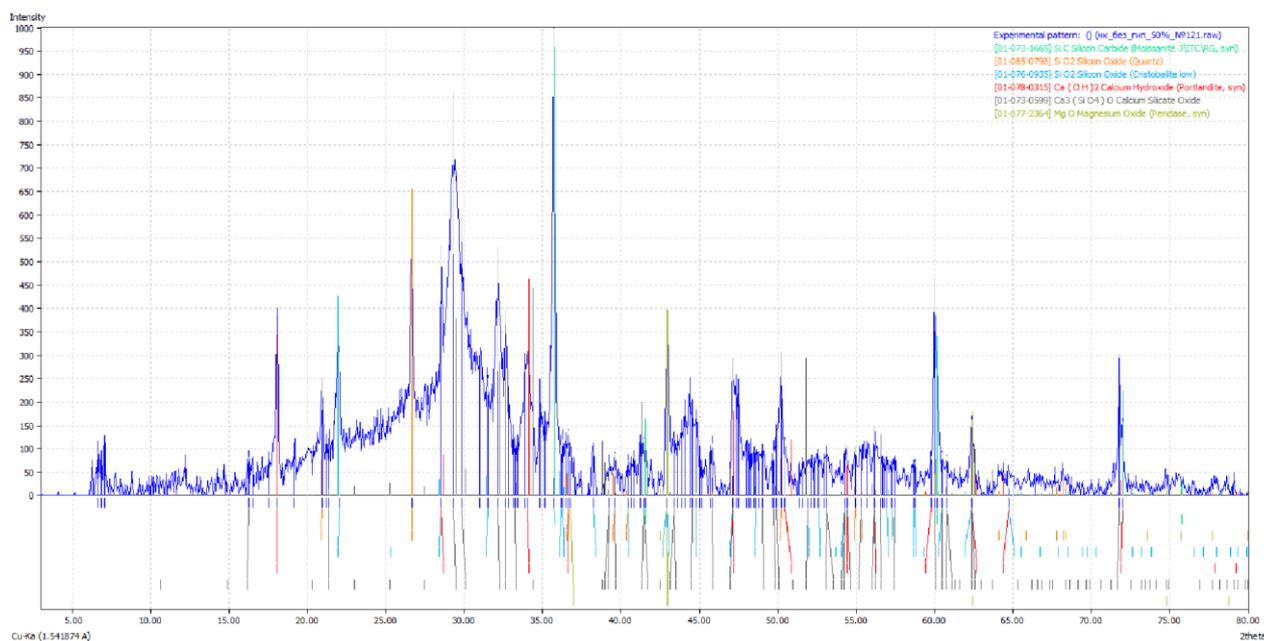


Рис. 4.27. Рентгенограма пінобетонного зразка з добавкою 50% мікрокремнезему (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / T = 0,816$)

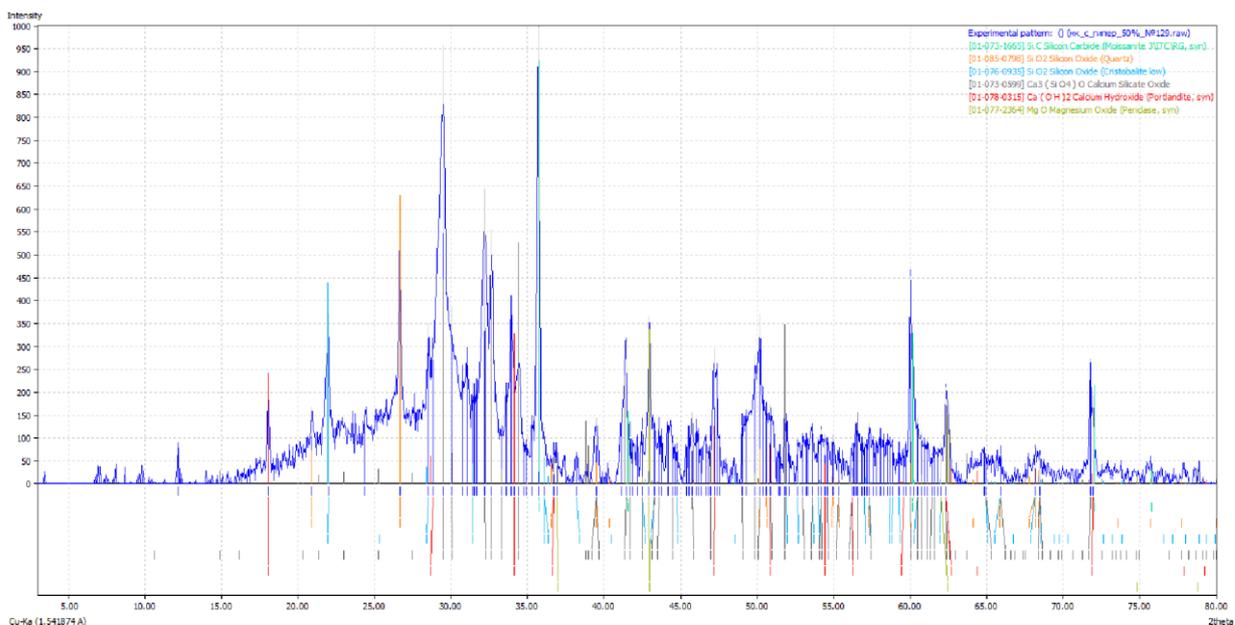


Рис. 4.28. Рентгенограма пінобетонного зразка з добавкою 50% мікрокремнезему і 1,3% гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / T = 0,42$)

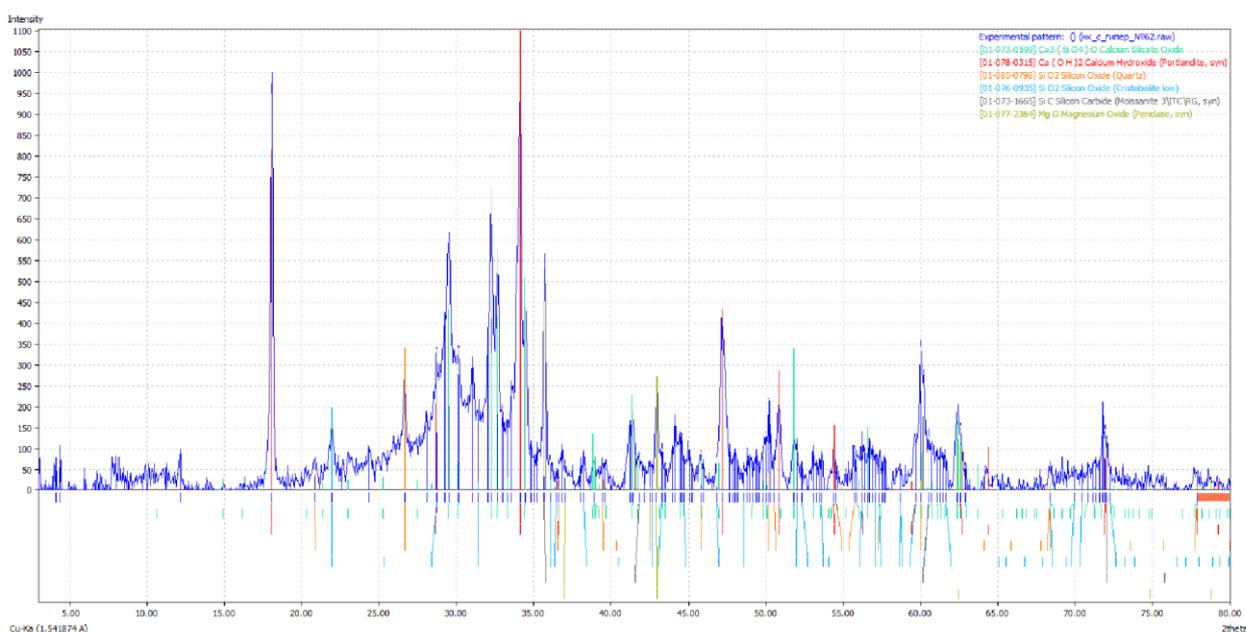


Рис. 4.29. Рентгенограма пінобетонного зразка з добавкою 30% мікрокремнезему і 0,98% гіперпластифікатору «MC-Power-Flow-3100» (діаметр розпливу суміші за Суттардом 25 см і $V / T = 0,42$)

Таблиця 4.3

Результати рентгенофазового аналізу контрольного пінобетонного зразка і зразків з пластифікуючої добавкою «МС-Power-Flow-3100» і мікрокремнезему

| Найменування зразка | Кількість отриманих сполук, % | | | |
|--|---|--------------------------|-------|----------------|
| | $3\text{Ca}_3\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | SiC | SiO_2 |
| Без добавок – контрольний (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 29,81 | 60,31 | - | - |
| З добавкою 30% МК (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 26,13 | 44,75 | 11,42 | 5,42 |
| З добавкою 50% МК (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 34,71 | 13,36 | 27,09 | 11,77 |
| З добавкою 30% МК і 1% «МС- Power-Flow-3100» (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 39,68 | 31,68 | 14,01 | 3,97 |
| З добавкою 50% МК і 1,3% «МС-Power-Flow-3100» (діаметр розпливу за Суттардом розчинної суміші 25 см) | 41,17 | 9,49 | 26,24 | 8,79 |

Фазовим аналізом доведено поглиблення гідратації. Зміст гідроксиду кальцію зменшується, внаслідок його зв'язування аморфним кремнеземом.

Для двох зразків – контрольного і з комплексною добавкою мікрокремнезему в кількості 50% від маси сухих компонентів і 1,3% гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100» були проведені електронно-мікроскопічні дослідження структури цементного каменю, зображені на рис. 4.30.

Пластифікатори змінюють морфологію продуктів гідратації. Відповідно до рис. 4.30, в їх присутності замість голкоподібних кристалів еtringіту формуються кулясті частки. У період росту кристалів еtringіту адсорбція молекул пластифікатору відбувається в більшій мірі на їх торцевих ділянках, що володіють найбільшою поверхневою енергією, тим самим перешкоджаючи їх подальшому зростанню.

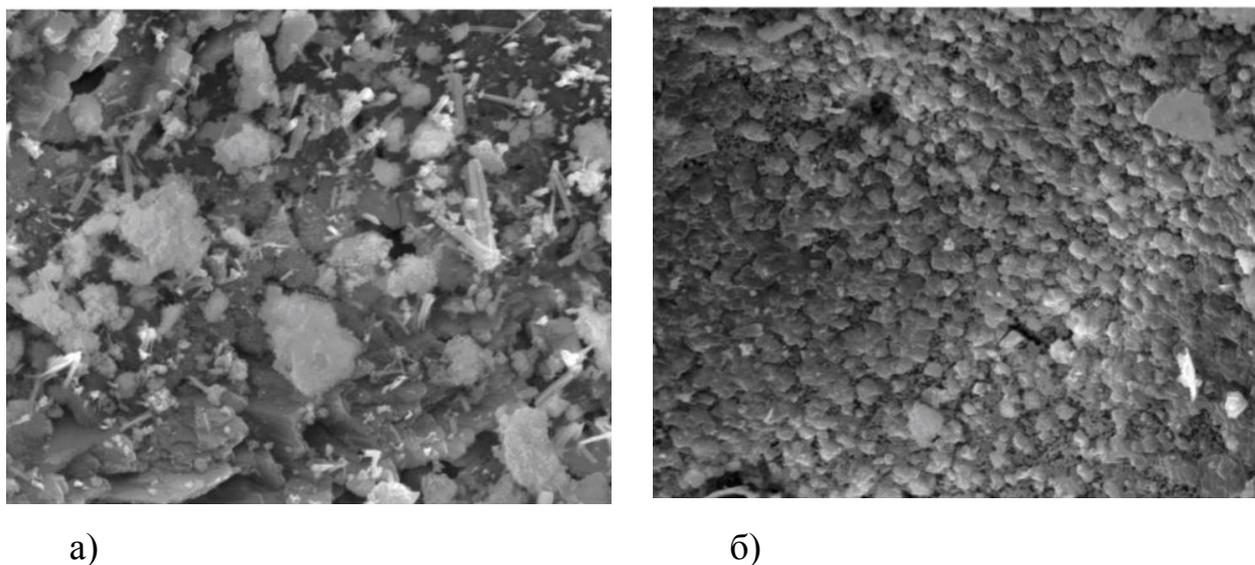


Рис. 4.30. Мікроструктура цементного каменю: а – без добавок;
б – з добавками 50% мікрокремнезему і 1,3% гіперпластифікатору

У слідстві адсорбційного модифікування алюмінатних структур пластифікаторами питома поверхня продуктів гідратації C_3A через 28 діб нормального тверднення зростає приблизно в два рази в порівнянні з контрольними зразками. Електронно-мікроскопічні дослідження структури цементного каменю довели зменшення розміру кристалів новоутворень і збільшення їх кількості в одиниці об'єму пластифікованого цементного каменю, що є наслідком адсорбційного модифікування. Пластифікатори, володіючи диспергуючою дією, формують більш однорідну мікроструктуру цементного каменю. Але при введенні в цементну суміш надмірної кількості гіперпластифікатору відбувається її седиментація, і цементний камінь формується неоднорідної структури.

Мікрокремнезем також сприяє модифікації мікроструктури. Згідно рис. 4.30, б, її характер більш щільний у порівнянні з контрольними складами за рахунок зменшення водовмісту і поглиблення гідратації.

Зміна фазового складу і структури новоутворень при введенні пластифікуючих добавок і мікрокремнезему істотно впливають на фізико-механічні властивості, а, саме, виявляється тенденція до зростання показників

міцності. Але застосування МК вимагає додаткової кількості води замішування для його змочування, що призводить до збільшення вологості кінцевого продукту. Тому, щоб знизити вологість виробів мікрокремнезем необхідно вводити спільно з пластифікуючими добавками.

Висновки до розділу 4

Встановлено, що рухливість пінобетонної суміші зменшується зі збільшенням кількості мікрокремнезему, відповідно доводиться збільшувати водотверде відношення, для того щоб отримати необхідну рухливість суміші. Згодом це призводить до збільшення вологості готового пінобетону. Тому доцільно використовувати мікрокремнезем спільно з пластифікуючою добавкою, яка знижує В / Т розчинної суміші і вологість готового пінобетону.

Дані таблиці показують, що максимальну міцність досягли пінобетонні зразки з добавками пластифікатору і мікрокремнезёму при В / Т = 0,42.

Фазовим аналізом, представленому в табл. 4.2, підтверджується поглиблення гідратації. Вміст гідроксиду кальцію зменшується, внаслідок його зв'язування аморфним кремнеземом.

Таким чином, експериментально встановлено, що оптимальне масове співвідношення мікрокремнезём : цемент, при якому міцність пінобетону максимальна при використанні гіперпластифікатору, становить 1 : 1.

Експериментально встановлено, що максимальний приріст міцності пінобетонних зразків у порівнянні з контрольними зразками спостерігається при додаванні мікрокремнезему в кількості 50% з добавкою 1,3% гіперпластифікатору «МС-Power-Flow-3100»;

Виявлено, що кількість мікрокремнезему в пінобетонних зразках не суттєво впливає на їх теплопровідність.

З таблиці видно, що добавка гіперпластифікатору на основі полікарбонатів «МС-Power-Flow-3100» в суміш з мікрокремнеземом не тільки знижує вологість пінобетонних зразків, а й збільшує витрату мікрокремнезему до 50% від маси твердих компонентів.

Введення спільно з мікрокремнеземом пластифікатору «MC-Power- Flow-3100» сприяє модифікації мікроструктури цементного каменю. Характер мікроструктури пінобетону, зображений на рис. 4.30, більш щільний у порівнянні з контрольними складами за рахунок зменшення водовмісту і поглиблення гідратації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

– Теоретично обґрунтовано вибір поверхнево-активних речовин (ПАР) для отримання теплоізоляційного пінобетону з підвищеними характеристиками міцності. Встановлено, що застосування синтетичного піноутворювача «Пента Пав 430А» за такими параметрами як кратність і стійкість піни в часі і гіперпластифікатору на основі полікарбоксилатів «МС-Power-Flow-3100» за водоредукуючим ефектом доцільніше. Вивчено фазовий склад новоутворень цементної системи, що включає два види різних поверхнево-активних речовин, а саме піноутворювача і гіперпластифікатору. Пластифікуючі добавки декілька уповільнюють гідратацію цементу. Зростання міцності пінобетонних зразків, модифікованих пластифікаторами, обумовлено зростанням питомою поверхнею продуктів гідратації, зменшенням розміру кристалів новоутворень і збільшенням їх кількості в одиниці об'єму пластифікованого цементного каменю. Пластифікатори, володіючи диспергуючою дією, формують більш однорідну структуру пінобетону.

– Встановлено взаємозв'язок фізико-механічних і теплотехнічних характеристик модифікованого пінобетону від кількості добавок, що вводяться. Доведено, що добавка мікрокремнезему знижує тиксотропні властивості системи. У той же час, аналіз форми реологічних кривих піноцементних суспензій показує, що присутність в системі ультрадисперсної мінеральної добавки може компенсуватися тільки наявністю високоефективних сучасних гіперпластифікаторів. Виявлено, що кількість мікрокремнезему в пінобетоні не суттєво впливає на його теплопровідність. Встановлено, що міцність пінобетону максимальна із застосуванням гіперпластифікатору при масовому співвідношенні мікрокремнезем : цемент рівному 1 : 1.

– Визначено механізм пластифікації пінобетонної суміші, як способу зміцнення структури пінобетону, що полягає в синергетичному ефекті, що виникає при введенні в систему двох ПАР різної дії. Застосування пластифікуючих добавок «Реламікс-М», «МС-Power-Flow-3100» і «GLENIUM SKY 591» призводить до зниження оптимальної рухливості розчину на 5 см в

порівнянні зі стандартною рухливістю, що необхідно враховувати при розрахунку складу пінобетону. Гранична кількість гіперпластифікаторів «МС-Power-Flow-3100» і «GLENIUM SKY 591» в розчинній суміші становить 1% від маси твердих речовин, а суперпластифікатора і прискорювача тверднення «Реламікс-М» – 1,2% від маси твердих речовин при $V/C < 0,42$ і 1% при $V/C > 0,42$. Застосовувати дані пластифікуючі добавки понад вищевказаних величин недоцільно, тому що це призводить до синерезису структури пінобетонної суміші.

– Встановлено характер спільного впливу ПАР (гіперпластифікатору і піноутворювача) і мікрокремнезему, на структуру вспінюючого матеріалу, що забезпечує підвищення міцності пінобетону до 120%. Аналізом РФА встановлено, що вміст гідроксиду кальцію зменшується, внаслідок його зв'язування аморфним кремнеземом. Завдяки ефекту пластифікації відбувається зниження водотвердого відношення пінобетону з застосуванням мікрокремнезему з 0,9 до 0,42.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Савенков, А.И., Горбач, П.С., Щербин, С.А. Неавтоклавный пенобетон. Факторы качества. // Монография. – Ангарск: издательство Ангарской государственной технической академии, 2013. – 103 с.
2. Баженов, Ю.М., Фаликман, В.Р., Булгаков, Б.И. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов // Вестник МГСУ, 2012. – № 12. – с. 125-133.
3. Ухова, Т.А., Кривицкая, И.Г. Опыт применения комплексных добавок на основе суперпластификаторов при производстве ячеистых бетонов // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. Тезисы докладов 111 республиканской конференции. – Таллин, 1978. – с. 146-147.
4. Калашников, В.И., Кузнецов, Ю.С., Макридин, Н.И. Использование химических добавок с учетом технологических особенностей производства газобетона // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. Тезисы докладов 111 республиканской конференции. – Таллин, 1978. – с. 151-154.
5. Иванов, И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
6. Василик, П., Голубев, И. Особенности применения поликарбоксилатных гиперпластификаторов Melflux® // Междунар. конф. «Baltimix». – 2003.
7. Савенков, А.И., Баранова, А.А. Прочность и подвижность пеноцементной матрицы в присутствии пенообразователей // Материалы I международной научно-практической конференции «Теория и практика внедрения новых технологий и материалов в производстве и строительстве» / НИЦ «Апробация». – М.: Изд-во Перо, 2012. – 92 с.
8. Рой, Д.М., Гауда, Г.Р. Связь пористость-прочность в цементных материалах повышенной прочности. J. Am. Ceram. Soc. № 56. – 1973. – с. 549-550.
9. Kearsley, E.P., Wainwright, P.J. Porosity and permeability of foamed concrete // Cem. And Concr. Res. № 5. – 2001. – p. 805-812.
10. Намбиар, Е.К.К., Рамамурти, К. Модели для прогнозирования

прочности пенобетона, J. Mater. Struct. № 41. – 2008.– с. 247-254.

11. Хархардин, А.Н. Структурная топология пенобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. № 5. – 2005. – с. 18-25.

12. Чен, Х., Ву, Ш., Жоу, Ж. Влияние пористости на прочность при сжатии и растяжении цементного раствора // Construction and Building Materials. № 40. – 2013.– с. 869-874.

13. Айлер, Р. Химия кремнезема: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. Ч. 2 – 712 с.

14. Бабачев, Георги Н. Зола и шлаки в производстве строительных материалов. (Перевод с болгарского). – Киев: Будивельник, 1987. – 136 с.

15. Баранов, А.Т., Макаричев, В.В. Ячеистые бетоны с пониженной объемной массой. – М.: Стройиздат, 1974. – 128 с.

16. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // Строительные материалы. № 10. – 2006. – с. 4-7.

17. Бахтияров, К.И., Баранов, А.Т. Зависимость основных механических свойств ячеистого бетона от объемного веса // Производство и применение изделий из ячеистого бетона. – М.: Стройиздат, 1968. – 161 с.

18. Болквадзе, Л.С. Бетоны автоклавного синтеза из новых сырьевых материалов. – М.: Стройиздат, 1981. – 136 с.

19. Брыков, А.С. Ультрадисперсные кремнеземы в технологии бетонов // Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.

20. Брыков, А.С. Химия силикатных растворов и их применение // Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008. – 54 с.

21. Гениев, Г.А., Киссюк, В.Н., Левин, Н.И., Никонова, Г.А. Прочность легких и ячеистых бетонов при сложном напряженном состоянии. – М.: Стройиздат, 1978. – 167 с.

22. Гладких, К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол. – М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.

23. Горлов, Ю.П., Меркин, А.П., Устенко, А.А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 272 с.

24. Горяйнов, К.Э., Коровникова, В.В. Технология производства

полимерных и теплоизоляционных изделий. – М.: Высшая школа, 1975. – 296 с.

25. Дворкин, Л.И., Дворкин, О.Л. Проектирование бетонов с заданными свойствами. – Издательство РГТУ, 1999.

26. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука. – 391 с.

27. Зиновьев, А.А., Дворянинова, Н.В. Местное техногенное сырье как добавка для цементных растворов // Строительные материалы. № 10. – 2006. – с. 49-51.

28. Иванов, И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.

29. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80. – М.: Стройиздат, 1981. – 48 с.

30. Кафтаева, М.В., Маличенко, Г., Скороходова, О.А. Теория и практика ячеистых бетонов автоклавного твердения. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. – 192 с.

31. Клупшас, К.В., Бертулис, П.П., Поюровский, Б.Н., Войтехович, И.И. Армогазосиликатные изделия. – Ленинград: Издательство литературы по строительству, 1967. – 80 с.

32. Кожевникова, Л.П. Повышение поверхностной прочности ячеистобетонных изделий // Исследование и применение строительных материалов на основе местных вторичных ресурсов. Сборник научных трудов под редакцией Чернова А.Н. – Челябинск, 1985. – 184 с.

33. Кругляков, П.М. Пены и пенные пленки. – М.: Химия, 1990. – 432 с.

34. Кудряшев, И.Т. О некоторых технологических факторах изготовления изделий из автоклавного газо- и пенобетона. – М.: Строительные материалы, 1959. – 174 с.

35. Лукиенко, Е.П., Неевина, Е.А. Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве. – М.: Стройиздат, 1972. – 400 с.

36. Меркин, А.П. Применение поверхностно-активных веществ в строительстве. – М.: Стройиздат, 1974. – 131 с.

37. Новиков, Б.А., Розенфельд, Л.М., Лукьянчук, Г.М., Ефименко, А.З.,

Петров, К.Г. Эффект предварительного смешения сухих компонентов газобетона с алюминиевой пудрой // Легкие и ячеистые бетоны и конструкции из них. Под редакцией Баранова А.Г., Бужевича Т.А., Корнева И.А., Макаричева В.В. – М., 1970. – 202 с.

38. О механизме гидратации силикатов и алюминатов кальция. // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. – Ленинград, 1981.

39. Пинскер, В.А., Коровкевич, В.В., Пероцкая, Д.М. Экономичность применения ячеистых бетонов в жилищном строительстве. – М., 1976. – 44 с.

40. Производство и применение конструкций из легких и ячеистых бетонов. – Вильнюс, 1970. – 180 с.

41. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. – М.: Наука, 1978. – 368 с.

42. Розенфельд, Л.М., Сакаев, Р.В., Ивлиева, Г.А. Исследование возможности изготовления конструкционно-теплоизоляционного газшлакобетона объемным весом 500-600 кг/м³ // Совершенствование технологии и свойств ячеистых бетонов под редакцией Сакаева Р.В., Дубровиной Н.И. Сборник трудов № 26. – Свердловск, 1970. – 132 с.

43. Строительные материалы на основе вермикулита, шлаков и зол. Под редакцией Геммерлинга Г.В., Боброва Б.С., Чернова А.Н. – Челябинск, 1974. – 156 с.

44. Тейлор, Х.Ф. Химия цемента. – М.: Стройиздат, 1998. – 520 с.

45. Шатова, В., Шкрдлин, Я. Пористые бетоны. Семирк. – М.: Госстройиздат., 1962. – 230 с.