

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ГАРАЩЕНКО ДАР'Я ПАВЛІВНА



УДК 691.328.4

**ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИЙ САМОУЩІЛЬНЮЮЧИЙ БЕТОН
НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ**

05.23.05 - будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса-2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Барабаш Іван Васильович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
професор кафедри міського будівництва та
господарства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гоц Володимир Іванович,
Київський національний університет будівництва
та архітектури, завідувач кафедри технології
будівельних конструкцій і виробів

доктор технічних наук, професор
Саницький Мирослав Андрійович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри будівельного виробництва

Захист відбудеться «12» травня 2021 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4 та на сайті: <http://odaba.edu.ua>.

Автореферат розісланий «9» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
Д 41.085.01 доктор технічних наук, доцент



Кровяков С.О.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Бетон на сьогоднішній день залишається одним із найрозповсюджених будівельних матеріалів у світі. Міцність, довговічність, економічність, екологічна безпека, доступність сировинних компонентів забезпечують бетону високу конкурентоздатність в будівельній галузі. В різноманітті бетонів особливе місце займають самоущільнюючі бетони (СУБ). Володіючи винятковою рухливістю, така бетонна суміш може самостійно, під дією власної ваги, заповнювати форму, звільнюючись при цьому від залученого в процесі перемішування повітря. Переваги укладання самоущільнюючих бетонних сумішей у конструкції, в порівнянні з звичайними сумішами, очевидні. До них, в першу чергу, можна віднести зниження маси конструкції опалубки, збільшення об'єму укладки бетонної суміші в зміну, зменшення відстані між арматурними стрижнями, збільшення адгезії арматури до бетону. В технології виготовлення СУБ якість застосовуваних інгредієнтів (в'язуче, тонкодисперсні мінеральні добавки, дрібний та крупний заповнювачі) грають, на відміну від традиційних бетонів, особливу роль. Відхилення їх характеристик від необхідних може викликати сегрегацію бетонної суміші і, як наслідок, може призвести до погіршення однорідності затверділого бетону по об'єму виробу або конструкції. Комплексне вирішення питань, пов'язаних як з підвищенням потенційних можливостей портландцементу, так і з гомогенізацією бетонної суміші, досягається за рахунок використання інтенсивної роздільної технології (ІРТ) її виготовлення. Поєднання позитивних властивостей самоущільнюючих бетонних сумішей з ІРТ сприяє вирішенню задач виготовлення бетону з покращеними властивостями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з тематикою кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури «Механохімічна активація і інтенсифікація процесів структуроутворення композиційних будівельних матеріалів» та з науково-дослідною роботою (2016-2020 рр.) «Дисперсно-армовані самоущільнюючі бетони на механоактивованому в'язучому для ремонту перекриттів та підлог цивільних та промислових будівель» № державної реєстрації 0116U005080.

Метою роботи є розробка інтенсивної роздільної технології виготовлення дисперсно-армованих самоущільнюючих бетонних сумішей та бетонів на їх основі з покращеними властивостями.

Завдання досліджень:

- визначити вплив рецептурно-технологічних факторів (механоактивація, кількість суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри) на зміну ефективної в'язкості цементовміщуючих суспензій;
- дослідити вплив механоактивації в'язучого на терміни тужавлення і екзотермічний розігрів цементного тіста;

- дослідити вплив факторів складу цементного тіста на усадку і міцність при стиску цементного каменю на механоактивованому в'язучому;
- визначити вплив механоактивації і факторів складу самоупільнюючих бетонних сумішей на міцність при стиску СУБ;
- дослідити вплив рецептурно-технологічних факторів на стираність та ударну міцність СУБ;
- здійснити дослідно-промислове впровадження дисперсно-армованих самоупільнюючих бетонних сумішей на механоактивованому портландцементі.

Об'єкт дослідження – вплив рецептурно-технологічних факторів на властивості дисперсно-армованого самоупільнюючого бетону.

Предмет дослідження – дисперсно-армований самоупільнюючий бетон на механоактивованому портландцементі.

Методи дослідження. Дослідження виконувались з використанням методів оптимального планування експериментів та експериментально-статистичного моделювання, визначення реологічних (ефективна в'язкість суспензії, розплив конуса самоупільнюючої бетонної суміші), фізико-механічних та спеціальних властивостей (середня густина, терміни тужавлення цементного тіста, екзотермічний розігрів цементних суспензій, усадка, міцність бетону при стиску, стираність, ударна міцність) здійснювались за стандартами згідно з чинними нормами.

Наукова новизна отриманих результатів:

- встановлено закономірність індивідуального та сумісного впливу на ефективну в'язкість цементовміщуючих суспензій швидкісного змішування, поліпропіленової фібри, мікрокремнезему та суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК;
- експериментально доведена можливість отримання високоміцних самоупільнюючих бетонів на місцевих дрібних та крупних заповнювачах шляхом використання інтенсивної роздільної технології виготовлення;
- з використанням методів комп'ютерного матеріалознавства оптимізовані склади дисперсно-армованих самоупільнюючих бетонів на місцевих заповнювачах з міцністю при стиску до 55 МПа;
- подальшого розвитку набули технологічні основи композиційної побудови складу СУБ з покращеними властивостями на стираність та ударну міцність.

Практичне значення одержаних результатів роботи розповсюджується на будівельну галузь і полягає у практичному використанні наукових основ управління ефективною в'язкістю цементовміщуючих суспензій, процесами структуроутворення дисперсно-армованих самоупільнюючих бетонних сумішей із забезпеченням необхідних фізико-механічних властивостей бетонів. Побудовані математичні моделі властивостей дисперсно-армованих СУБ на місцевих заповнювачах, що дозволило оптимізувати рецептуру та технологічні режими їх виготовлення. Розроблена принципова технологічна схема виробництва дисперсно-армованих самоупільнюючих бетонних сумішей, які реалізовані при бетонуванні підлоги (115 м²) відкритого складу готової

продукції ТОВ «Ростдорстрой» в м. Одесі. Основні положення дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Одеської державної академії будівництва та архітектури в курсі лекцій навчальної дисципліни «Високотехнологічні бетони на механоактивованих мінеральних в'язучих речовинах», яка викладається при підготовці здобувачів третього рівня вищої освіти (доктор філософії) зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, науковому обґрунтуванні та формулюванні мети та завдань досліджень. Сформульовано наукові основи управління ефективною в'язкістю цементовміщуючих суспензій. Обґрунтовано вибір добавок до самоущільнюючої бетонної суміші. Автором проведений повний цикл експериментальних досліджень з обробкою одержаних результатів та впровадження їх в промислове виробництво. Авторів належать основні ідеї опублікованих праць, аналіз та узагальнення результатів досліджень, їх систематизація.

Основні наукові результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. В наукових роботах, які опубліковані в співавторстві, автору належить:

[2, 3, 5] – дослідження впливу механоактивації на структурно-механічні властивості цементних бетонів;

[1] – дослідження впливу суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК на ефективну в'язкість цементовміщуючої суспензії;

[6, 7] – розрахунок складів самоущільнюючих бетонних сумішей з розпливом конусу суміші не менше 60 см;

[4, 8, 9] – дослідження впливу рецептурно-технологічних факторів на механічні характеристики СУБ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та її результати доповідались і обговорювались на конференціях та семінарах: міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених (Білорусь, м. Могилів, 2017р.), VII міжнародній науково-практичній конференції «Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві» (Україна, 2018р.), міжнародному семінарі «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 2018р.), 74-а науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу академії (Україна, м. Одеса, 2018р.), III міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Україна, м. Одеса, 2019р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 9 наукових праць, з них 2 статті у фахових виданнях України, 1 стаття у виданні що індексується SCOPUS, 4 публікації у матеріалах наукових конференцій України, 1 публікація у матеріалах закордонної наукової конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, основної частини (4 розділів), висновків, списку літературних джерел і двох додатків. Робота викладена на 159 сторінках, які включають 110 сторінок основного

тексту, 17 таблиць та 35 рисунків, двох додатків та список використаних літературних джерел із 166 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, вказано на особистий внесок здобувача, наведені дані про публікації, структуру та обсяг дисертації.

У **першому** розділі дисертації розглядається стан наукової проблеми та визначені шляхи її вирішення. Розглянуто досвід використання самоущільнюючих бетонів (СУБ) в будівництві промислових та цивільних об'єктів як на території України, так і за кордоном. Аналіз публікацій вітчизняних та закордонних вчених показав, що виробництво таких бетонних сумішей і бетонів на їх основі можливо при виконанні ряду умов, таких як: а) використання потужних суперпластифікаторів; б) оптимізації зернового складу заповнювачів з підвищеною кількістю дрібних фракцій; в) оптимізації витрати портландцементу. В той же час відносно низька якість місцевих інертних матеріалів, в поєднанні з нестабільністю їх властивостей, перешкоджає широкому впровадженню СУБ в практику будівництва. Для підвищення якості таких бетонів розглянуті питання, пов'язані з їх дисперсним армуванням та використанням суперпластифікаторів (наукові роботи Баженова Ю.М., Батракова В.Г., Гоца В.І. Дворкіна Л.Й., Капрієлова С.С., Зайченка М.М., Саницького М.А., Солодкого С.Й., Рабіновича Ф.Н., Ушєрова-Маршака О.В., Окамура Н., Окара К., Ventura A., Magnusson J. та інш.) Проведений літературний огляд показав, що використання фібри та суперпластифікаторів призводить до підвищення фізико-механічних характеристик бетону і, зокрема, міцності при стиску, стираності, ударній міцності.

Особливе місце в літературному огляді відводиться науковим роботам вчених, в яких розглядаються питання, пов'язані з механоактивацією мінеральних в'язучих та роздільною технологією виготовлення бетонних сумішей та бетонів на їх основі (Вировой В.М., Дєсов А.Є., Матвієнко В.А., Соломатов В.І., Ребіндер П.О., Урьєв Н.Б., Федоркін С.І., Хінт Й.О., Ходаков Г.С., Bensted J., Porter H., Heinicke G. та інш.).

З огляду на проаналізовані літературні джерела висунута **робоча гіпотеза** про можливість підвищення механічних властивостей СУБ на місцевих заповнювачах за рахунок введення до його складу добавки Релаксол-Супер ПК, мікрокремнезему, поліпропіленової фібри та застосування інтенсивної роздільної технології виготовлення самоущільнюючої бетонної суміші.

У **другому розділі** наведено характеристики застосованих сировинних матеріалів та використані методи досліджень. Для проведення експериментальних досліджень використовувався чистоклінкерний портландцемент (СЕМ І) активністю 48,0 МПа, одержаний сумісним помелом портландцементного клінкеру Одеського цементного заводу (ТОВ «Цемент») з двуводним гіпсом (5%) в лабораторному млині до питомої поверхні 280 м²/кг. В

якості дрібного заповнювача використовувався кварцовий пісок з $M_k = 2,2$ Олександрівського кар'єру Одеської області. Роль крупного заповнювача виконував гранітний щебінь фракцій 5...10 та 10...20 мм Гниванського кар'єру Вінницької області. В якості волокнистої арматури використовувалась поліпропіленова фібра з довжиною волокон 12 мм та діаметром 20 мкм. В якості активної мінеральної добавки до портландцементу використовувався мікрокремнезем Нікопольського заводу феросплавів з розміром частинок менше 2 мкм (більше 90% по масі). В експериментах в якості хімічної добавки використовувався суперпластифікатор полікарбоксилатного типу «Релаксол-Супер ПК» ТОВ «Будіндустрія» (м. Запоріжжя).

Визначення ефективної в'язкості цементовміщуючої суспензії здійснювалось на ротаційному віскозиметру «Полімер-РПЭ1М» з коаксіальними циліндрами. Принцип роботи віскозиметра базується на вимірюванні моменту опору зсуву випробуваного матеріалу (в даному випадку цементовміщуючої суспензії), розміщеного між зовнішнім та внутрішнім циліндром. При обертанні внутрішнього циліндру, зв'язаного з приводом, відбувається його гальмування, яке приймається вимірювальною пружиною та деформує її так, що момент пружності пружини врівноважує момент опору зсуву. Датчики, які зв'язані з пружиною, фіксують на цифровому табло значення ефективної в'язкості. Механоактивація цементовміщуючої суспензії здійснювалась в лабораторному швидкісному змішувачі з кількістю обертів робочого органу 2800 об/хв. Контрольні суспензії готувались за традиційною технологією (без швидкісного змішування суспензії в активаторі). Дослідження властивостей твердіючого цементного тіста і каменю на його основі та бетону проводились згідно з загальноприйнятими методиками та діючими стандартами: ДСТУ Б В. 2.7-185:2009; ДСТУ Б В.2.7-187:2009; ДСТУ Б В.2.7-176:2008; ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

Рухливість бетонної суміші визначалась по розпливу її з перевернутого конусу Абрамса. Фіксація діаметру розпливу суміші проводилася в період часу, який не перевищував 45 с з моменту вивантаження її із конусу.

Деформації усадки цементного каменю вимірювались за допомогою лабораторного мікроскопа «УІМ – 21».

Стираність бетону оцінювали шляхом випробування зразків-кубів на крузі стираності марки ЛКІ-3.

Ударна міцність бетону вимірювалась на лабораторному копрі шляхом випробування зразків-кубів з ребром 7,07 см.

Обчислення результатів експерименту та їх обробка виконувалось з застосуванням методів математичного планування експериментів.

Побудова і статистичний аналіз математичних моделей виконувались за стандартними методиками із застосуванням системи COMPEX.

У третьому розділі розглядаються питання сумісного і роздільного впливу механоактивації в'язучого, витрат суперпластифікатору, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри на: а) ефективну в'язкість суспензій; б) терміни тужавлення і екзотермічний розігрів цементних композицій; в) усадку та міцність при стиску цементного каменю.

Дослідженню піддавались цементні суспензії на механоактивованому в'язучому та в'язучому, яке активації не піддавалось. Термін активації в'язучого обирався із умови граничного руйнування структури суспензії, що фіксувався за мінімальним значенням її ефективної в'язкості η . Результати η цементовміщуючої суспензії в залежності від терміну активації, кількості добавки Релаксол-Супер ПК, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри (Ф), наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив рецептурно-технологічних факторів на зміну ефективної в'язкості цементовміщуючих суспензій

№	ПЦ, %	МК, %	Супер ПК, %	Ф, %	Термін активації суспензії, с					
					0	30	60	90	120	150
1	100	0	0	0	1500	504	255	191	175	198
2	95	5	0		2400	1049	692	632	680	747
3	90	10	0		2900	1688	1437	1425	1459	1493
4	100	0	0,5		831	281	143	107	96	112
5	95	5	0,5		1515	599	371	337	357	403
6	90	10	0,5		1869	951	752	742	751	787
7	100	0	1		150	58	30	21	19	24
8	95	5	1		608	149	47	35	42	51
9	90	10	1		812	214	63	45	58	66
10	100	0	0	1	1741	703	404	358	348	371
11	95	5	0		2653	1275	890	822	850	881
12	90	10	0		3130	1920	1694	1673	1703	1734
13	100	0	0,5		1187	380	188	153	147	156
14	95	5	0,5		1697	804	528	484	498	509
15	90	10	0,5		2019	1155	913	871	883	899
16	100	0	1		187	137	122	108	116	122
17	95	5	1		671	295	150	121	128	137
18	90	10	1		947	355	183	148	155	166

Примітка: ПЦ – портландцемент активністю 48,0 МПа; МК – мікрокремнезем; Ф – поліпропіленова фібра

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить про те, що механоактивація суспензії в турбулентному потоці призводить до різкого зниження її ефективної в'язкості. Введення добавки Релаксол-Супер ПК в суспензію сприяє ще більш ефективному руйнуванню її початкової структури в процесі механоактивації. Так, активація суспензії без суперпластифікатора протягом 120 с викликає зниження її ефективної в'язкості з 1500 до 175 сП. В той же час наявність 1% водоредукуючої добавки в суспензії, яка механоактивації не підлягала, викликає зниження ефективної в'язкості з 1500 до 150 сП.

Таким чином, зниження ефективної в'язкості тільки від швидкісного змішування або тільки від введення суперпластифікатору не перевищує 10 разів. В той же час сумісний вплив від механоактивації суспензії в присутності 1% добавки Релаксол-Супер ПК призводить до зниження в'язкості з 1500 до 19 сП, тобто майже в 80 разів. Це дозволяє зробити важливий висновок про те, що швидкісне змішування суспензії в присутності водоредукуючої добавки викликає практично повне руйнування початкової структури цементовміщуючої суспензії.

Введення в портландцемент мікрокремнезему призводить до зростання ефективної в'язкості суспензії. Особливо це відчутно для суспензій, які механоактивації не підлягають. Зростання концентрації мікрокремнезему від 0 до 10% викликає підвищення η від 150 до 812 сП, тобто більше ніж в п'ять разів. В той же час швидкісне змішування такої цементної суспензії викликає в протиположний, зниження її ефективної в'язкості з 812 до 45 сП, що повністю нівелює негативний вплив мікрокремнезему на її в'язкість.

Виявлено вплив досліджуваних рецептурних факторів (Релаксол-Супер ПК, мікрокремнезем, поліпропіленова фібра) на міцність цементного каменю в 3-и, 7-и та 28-ми денному віці. Встановлено, що найбільший вплив на міцність цементного каменю, із перерахованих рецептурних факторів, надає концентрація Релаксол-Супер ПК в цементоводній композиції. Збільшення витрати суперпластифікатору від 0 до 1% (в перерахунку від маси цементу) призводить до зниження нормальної густини цементного тіста з 0,28 до 0,20, що в поєднанні з механоактивацією, підвищує міцність цементного каменю при стиску в 28-ми денному віці на 50% – з 62 до 93 МПа.

Введення в портландцемент мікрокремнезему (до 10%) викликає підвищення міцності цементного каменю при стиску в значно меншій мірі, що не перевищує 16...21%. Наявність поліпропіленової фібри в цементному камені в кількості 1% від маси цементу викликає підвищення міцності каменю не більше ніж на 3...5%. Механоактивація в поєднанні з рецептурними факторами викликає підвищення міцності цементного каменю (в порівнянні з контрольним) більш ніж на 80%, а саме з 62,4 до 113,4 МПа, рис.1. На наступному етапі роботи досліджувався вплив механоактивації та рецептурних факторів (поліпропіленова фібра, Релаксол-Супер ПК та мікрокремнезем) на усадочні деформації твердіючого цементного каменю. Деформації усадки цементного каменю фіксувалися протягом 28 днів твердіння. Кінетика наростання усадочних деформацій, графічне відображення яких наведено на рис. 2, свідчить про відносно інтенсивне їх зростання в перші 7 днів твердіння цементного каменю. За цей період усадочні деформації досягають 80...85 % від деформацій цементного каменю в 28-ми денному віці. Слід відмітити зниження на 8...10 % абсолютного значення величини усадки цементного каменю, в'яжуче якого підлягало механоактивації, в порівнянні з контрольним.

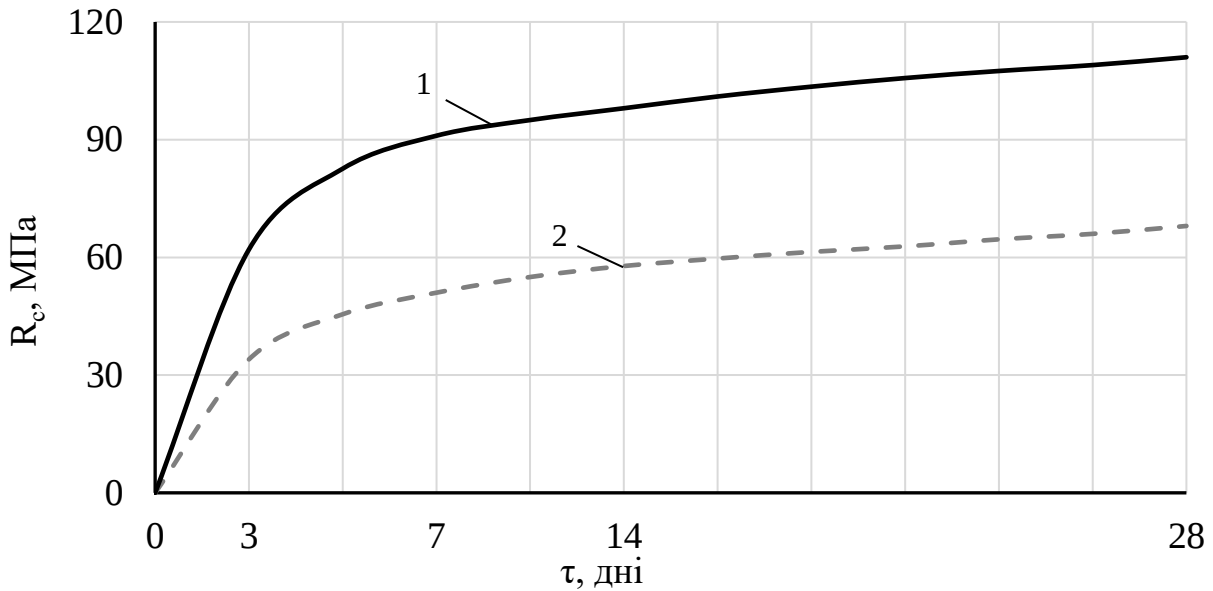


Рис. 1 Кінетика наростання міцності цементного каменю при стиску:
 1 – цементний камінь на механоактивованому ПЦ з добавкою 1% Релаксол-Супер ПК, 10% мікрокремнезему та 1% поліпропіленової фібри
 2 – контрольний (механоактивація портландцементу відсутня; Релаксол-Супер ПК = 0%; МК= 0%; Φ = 0%);

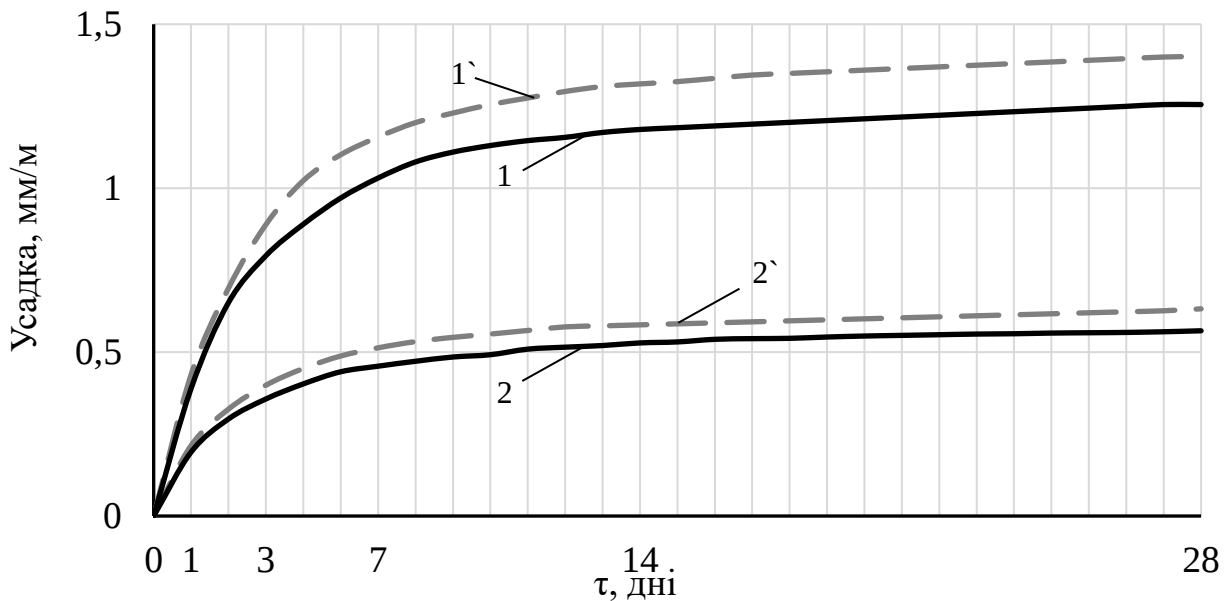


Рис.2 Кінетика наростання усадочних деформацій твердіючого цементного каменю:

- 1 – цементний камінь на механоактивованому портландцементі, Φ = 0%;
- 2 – цементний камінь на механоактивованому портландцементі, Φ = 1%;
- 1' – механоактивація портландцементу відсутня, Φ = 0%;
- 2' – механоактивація портландцементу відсутня, Φ = 1%

За результатами досліджень встановлено позитивний вплив поліпропіленової фібри на зниження деформацій усадки цементного каменю. Наведені на рис. 3 графічні залежності свідчать про те, що введення поліпропіленової фібри призведе до різкого зниження деформацій усадки

твердіючого цементного каменю і при наявності фібри в кількості 1% усадка зменшується в середньому в 2...2,5 рази в порівнянні з контролем.

Це характерно для цементного каменю як на механоактивованому портландцементі, так і на портландцементі, який механоактивації не піддавався. Слід відзначити, що саме наявність поліпропіленової фібри нівелює підвищення деформацій усадки цементного каменю, в'яжуче якого містить в своєму складі мікрокремнезем, рис 4.

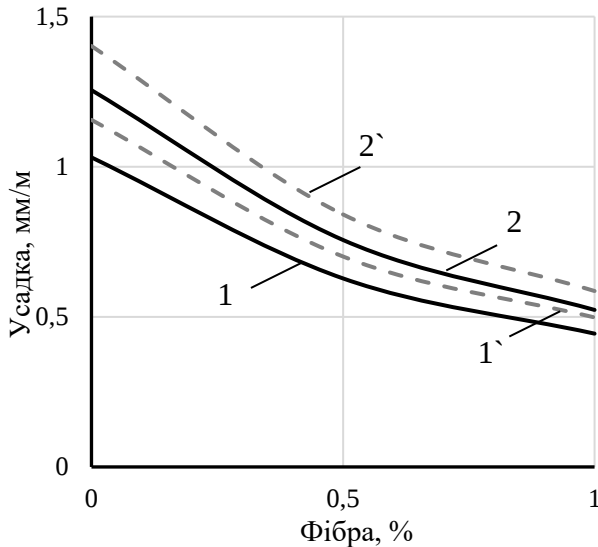


Рис.3 Вплив поліпропіленової фібри на деформацію усадки твердіючого цементного каменю:

1, 2 – цементний камінь на механоактивованому в'яжучому в віці 7 і 28 днів відповідно

1', 2' – контрольний (цементний камінь у віці 7 і 28 днів відповідно)

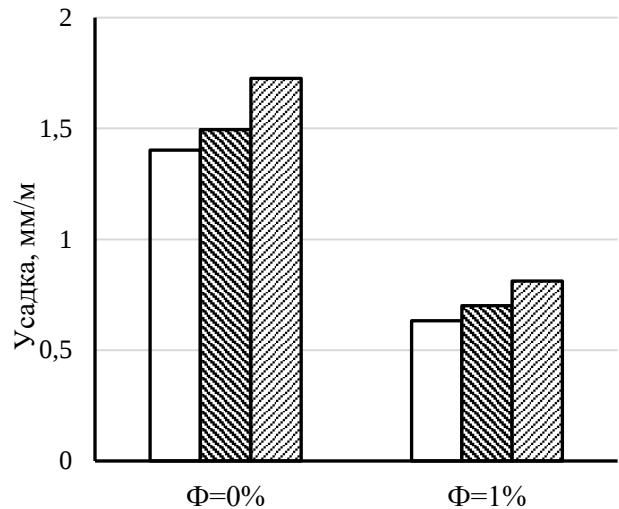
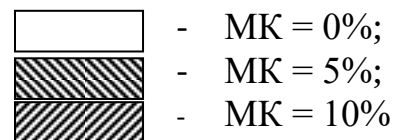


Рис.4 Вплив мікрокремнезему (МК) на деформацію усадки цементного каменю у віці 28 днів:



В четвертому розділі розглянуті питання розрахунку складів самоущільнюючих бетонних сумішей з використанням місцевих заповнювачів, а також досліджені фізико-механічні властивості СУБ. Рухливість такої бетонної суміші є чутливою до характеристик її компонентів, а також до співвідношення між ними. В зв'язку з цим розрахунок складів самоущільнюючих бетонних сумішей проводився експериментальним шляхом з виконанням методів математичного планування експерименту. В якості базового складу була прийнята бетонна суміш з витратою портландцементу в кількості 460 кг/м^3 . Витрата кварцового піску та гранітного щебеню складала відповідно 785 та 835 кг/м^3 . Співвідношення по масі між фракціями щебеню $5...10$ та $10...20$ мм було прийнято як 1 до 0,82, що забезпечувало йому максимальну насипну густину. В якості активної мінеральної добавки до портландцементу використовувався мікрокремнезем. Для пластифікації бетонної суміші використовувався суперпластифікатор полікарбоксилатного

типу Релаксол-Супер ПК. Для підвищення тріщиностійкості в склад бетонної суміші вводилась поліпропіленова фібра. Виконувалися дві паралельні серії експериментів: перша (контрольний) – за традиційною технологією приготування бетонної суміші і друга – з використанням інтенсивної роздільної технології (ІРТ) з активацією цементної суспензії. Умовами експерименту передбачалося одержання бетонної суміші з розпливом конусу 60 см, що дозволяло говорити про те, що дана рухливість відповідає рухливості самоущільнюючої бетонної суміші відповідно до марки F4 (ДСТУ Б В.2.7-176:2008 «Суміші бетонні та бетон»).

Для вивчення одночасного впливу перерахованих факторів на вміст води в бетонній суміші заданої рухливості, одержаної як з механоактивацією в'язучого, так і по традиційній технології, був поставлений 3-х факторний експеримент. Значення рецептурних факторів (в % від маси цементу) було прийнято в наступних діапазонах:

X_1 – поліпропіленове волокно – $(0,5 \pm 0,5) \%$;

X_2 – мікрокремнезем – $(5 \pm 5) \%$;

X_3 – Релаксол-Супер ПК – $(1 \pm 0,5) \%$

Аналіз результатів, наведених в табл. 2, свідчить про те, що витрата води замішування залежить від вмісту в бетонній суміші варійованих факторів і коливається в діапазоні від 175 л (мінімальна кількість) до 232 л (максимальний вміст) в перерахунку на 1 м³.

Таблиця 2

План експерименту та витрати компонентів бетонної суміші

№ п/п	Рівні варіювання			Компоненти бетонної суміші							Вода, л/м ³	
	X_1	X_2	X_3	Портланд- цемент, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Щ ₅₋₁₀ , кг/м ³	Щ ₁₀₋₂₀ , кг/м ³	Фібра, %	МК, %	Супер ПК, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*	13**
1	-	-	-	460	785	460	375	0	0	0,5	203	208
2	-	+	-	414	785	460	375	0	10	0,5	205	206
3	0	0	-	437	785	460	375	0,5	5	0,5	219	222
4	+	-	-	460	785	460	375	1	0	0,5	207	210
5	+	+	-	414	785	460	375	1	10	0,5	228	232
6	-	0	0	437	785	460	375	0	5	1	198	202
7	0	-	0	460	785	460	375	0,5	0	1	188	191
8	0	0	0	437	785	460	375	0,5	5	1	201	204
9	0	+	0	414	785	460	375	0,5	10	1	207	211
10	+	0	0	437	785	460	375	1	5	1	202	206
11	-	-	+	460	785	460	375	0	0	1,5	175	178
12	-	+	+	414	785	460	375	0	10	1,5	195	199

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12*	13**
13	0	0	+	437	785	460	375	0,5	5	1,5	192	195
14	+	-	+	460	785	460	375	1	0	1,5	177	180
15	+	+	+	414	785	460	375	1	10	1,5	197	201

Примітка:

* – кількість води замішування для бетонної суміші, виготовленої за ІРТ;

** – кількість води замішування для бетонної суміші, виготовленої за традиційною технологією

Витрата води для традиційно приготовлених бетонних сумішей зросла в кожній стрічці плану, в порівнянні з ІРТ, в середньому на 1,5...3%.

Розраховані за допомогою програми COMPEX коефіцієнти дозволили отримати експериментально-статистичну модель (1), яка описує вплив варійованих факторів X_1 , X_2 , X_3 на водопотребу бетонної суміші на механоактивованому в'язучому з розпливом конусу 60 см:

$$\begin{aligned}
 B = & 201,2 + 1,7 X_1 - 1,1 X_1^2 + 0,1 X_1 X_2 - 0,4 X_1 X_3 \\
 & + 10,0 X_2 - 3,4 X_2^2 - 0,2 X_2 X_3 \\
 & - 14,4 X_3 + 4,0 X_3^2
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Розгляд математичної моделі свідчить про те, що визначальний вплив на кількість води замішування самоущільнюючої бетонної суміші надає суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Релаксол-Супер ПК. Збільшення концентрації водоредукуючої добавки з 0,5 до 1,5% призводить до зменшення кількості води замішування в середньому на 14...16% (25...30 л) на 1 м³ бетонної суміші. В той же час часткове заміщення портландцементу мікрокремнеземом (до 10%) викликає підвищення кількості води замішування самоущільнюючої бетонної суміші в середньому на 8...10%. В значно меншій мірі, в порівнянні з мікрокремнеземом, підвищує кількість води замішування введення в склад бетонної суміші поліпропіленової фібри. При наявності 1% фібри в суміші кількість води замішування зростає не більше ніж на 1,5...2%.

На наступному етапі досліджувався вплив вищеперерахованих факторів на міцність при стиску самоущільнюючого бетону. В табл. 3 наведено 3-и факторний план експерименту та експериментальні результати міцності при стиску самоущільнюючого бетону в 3-и та 28-ми денному віці як на механоактивованому портландцементі (інтенсивна роздільна технологія виготовлення бетонної суміші), так і на портландцементі, який механоактивації не підлягав (контрольний). Результати свідчать про те, що міцність бетону при стиску в значній мірі залежить від варійованих факторів. Так, для бетону на механоактивованому в'язучому в 28-ми денному віці міцність бетону зростає від 29,4 МПа (фактори X_1 , X_2 і X_3 знаходяться на рівні «-1») до 57,7 МПа (фактори X_1 , X_2 та X_3 знаходяться на рівні «+1»). Наведені дані свідчать про те, що за рахунок введення в бетонну суміш на механоактивованому портландцементі заданої кількості поліпропіленової фібри, мікрокремнезему та

суперпластифікатору можливо підвищити міцність бетону майже вдвічі. Слід відмітити, що механоактивація сприяє підвищенню міцності бетону при стиску (в порівнянні з бетоном на не механоактивованому портландцементі) в середньому на 25-27%.

Таблиця 3

Рівні варіювання незалежних факторів та результати експериментів

№ п/ п	Поліпропі- ленова фібра, %	МК, %	Релаксол- Супер ПК, %	Міцність бетону при стиску, МПа			
				контрольний		ІРТ	
				3 дні	28 днів	3 дні	28 днів
1	-1	-1	-1	10,0	24,7	11,9	29,4
2	-1	1	-1	13,7	33,2	16,3	40,4
3	0	0	-1	12,4	30,1	14,9	36,8
4	1	-1	-1	10,4	26,3	12,5	31,2
5	1	1	-1	14,2	34,2	17,1	41,0
6	-1	0	0	14,6	35,5	18,3	43,0
7	0	-1	0	12,6	31,3	15,2	39,7
8	0	0	0	15,2	36,6	18,4	44,5
9	0	1	0	16,1	39	19,6	47,6
10	1	0	0	15,5	37,1	18,7	45,4
11	-1	-1	1	14,4	35,1	17,1	42,9
12	-1	1	1	18,4	44,9	22,4	54,3
13	0	0	1	16,5	40,2	20,0	49,8
14	1	-1	1	15,3	37,1	18,3	45,7
15	1	1	1	18,7	45,4	22,8	57,7

В результаті статистичної обробки експериментальних даних одержана математична модель (2) міцності бетону при стиску ($f_{ck.cube}^m$) в 28-ми денному віці на механоактивованому в'язучому (індекс «m»):

$$f_{ck.cube}^m 28 = 44,3 + 1,1X_1 - 0,1 X_1X_2 + 0,5 X_1X_3 + 5,2X_2 - 0,6 X_2^2 + 0,3 X_2 X_3 + 7,2X_3 - 0,9 X_3 \quad (2)$$

Розрахункові коефіцієнти математичної моделі (2) свідчать про одну і ту ж послідовність пріоритетних факторів впливу як на водопотребу самоущільнюючої бетонної суміші, так і на міцність СУБ при стиску, а саме: 1) водоредукуючої добавки; 2) мікрокремнезему; 3) поліпропіленової фібри. При відсутності в складі бетонної суміші фібри та мікрокремнезему підвищення концентрації суперпластифікатора від 0,5 до 1,5% викликає зростання міцності бетону при стиску в 28-ми денному віці більш ніж на 40%. Сумісний вплив вищевказаних факторів в поєднанні з механоактивацією в'язучого сприяє підвищенню міцності при стиску самоущільнюючого бетону в 28-ми денному

віці (в порівнянні з контрольним) з 24,7 до 57,7 МПа, тобто більше ніж в 2,3 рази, рис.5.

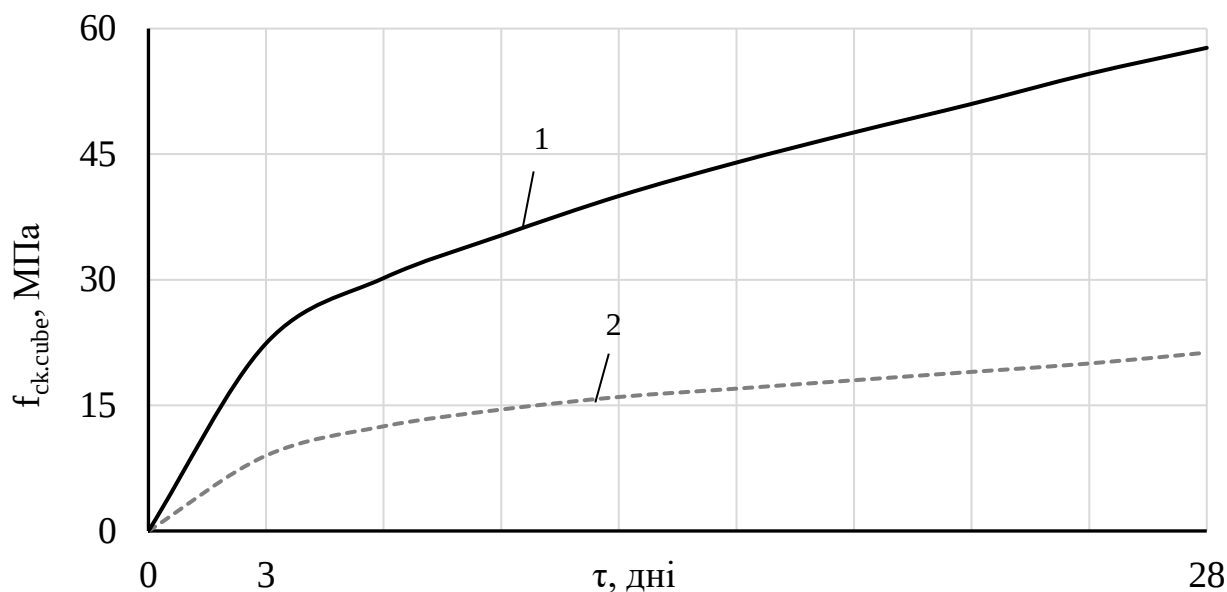


Рис. 5 Кінетика набору міцності самоущільнюючим бетоном:

- 1 – в'язуче механоактивоване (значення факторів X_1 , X_2 , X_3 на рівні «+1»);
 2 – контрольний (традиційне приготування бетонної суміші; значення факторів X_1 , X_2 , X_3 на рівні «-1»)

Слід відмітити незначний вплив поліпропіленової фібри на зростання міцності самоущільнюючого бетону при стиску як на механоактивованому портландцементі, так і на в'язучому, яке механоактивації не підлягало. Введення в суміш 1% поліпропіленового волокна викликало підвищення міцності бетону при стиску не більше ніж на 2-3%.

Експериментально підтверджено різке зростання впливу поліпропіленової фібри на стиранисть та ударну міцність самоущільнюючого бетону. Аналіз побудованих за результатами експериментальних досліджень математичних моделей (3) і (4) свідчить про зміщення акцентів впливу факторів X_1 , X_2 та X_3 на дані властивості СУБ в порівнянні з міцністю бетону при стиску – визначальне значення на ці характеристики надає саме поліпропіленова фібра:

$$G^m = 0,18 - 0,06 X_1 + 0,01 X_1^2 + 0,01 X_2 - 0,03 X_3 + 0,01 X_3^2 \quad (3)$$

$$T^m = 53,2 + 12,6 X_1 - 3,2 X_1^2 - 0,1 X_1 X_2 + 0,1 X_1 X_3 + 2,1 X_2 - 1,0 X_2^2 + 4,7 X_3 - 0,8 X_3^2 \quad (4)$$

Наведені на рис. 6.а графічні залежності свідчать про те, що підвищення кількості поліпропіленової фібри в бетоні на механоактивованому в'язучому

призводить до зменшення величини стираності з $0,23 \text{ г/см}^2$ (фібра відсутня) до $0,13 \text{ г/см}^2$ (наявність в бетоні 1% фібри). Для самоущільнюючого бетону, виготовленого по традиційній технології, стираність зростає в середньому на 20...25% в порівнянні з бетоном на механоактивованому в'язучому. Позитивний вплив на зниження стираності СУБ надає наявність суперпластифікатору в складі бетонної суміші. Експериментально встановлено, що підвищення концентрації Релаксол-Супер ПК від 0,5 до 1,5 % призводить до зниження стираності СУБ на 25-28 %.

Вплив поліпропіленової фібри на ударну міцність бетону на механоактивованому в'язучому описується за допомогою експериментально-статистичної моделі (4). Розгляд коефіцієнтів моделі свідчить про те, що зростання вмісту волокна від 0 до 1% призводить до підвищення ударної міцності СУБ з 41 до 69 Дж/см^3 , тобто більше ніж на 40 %, рис. 6.б.

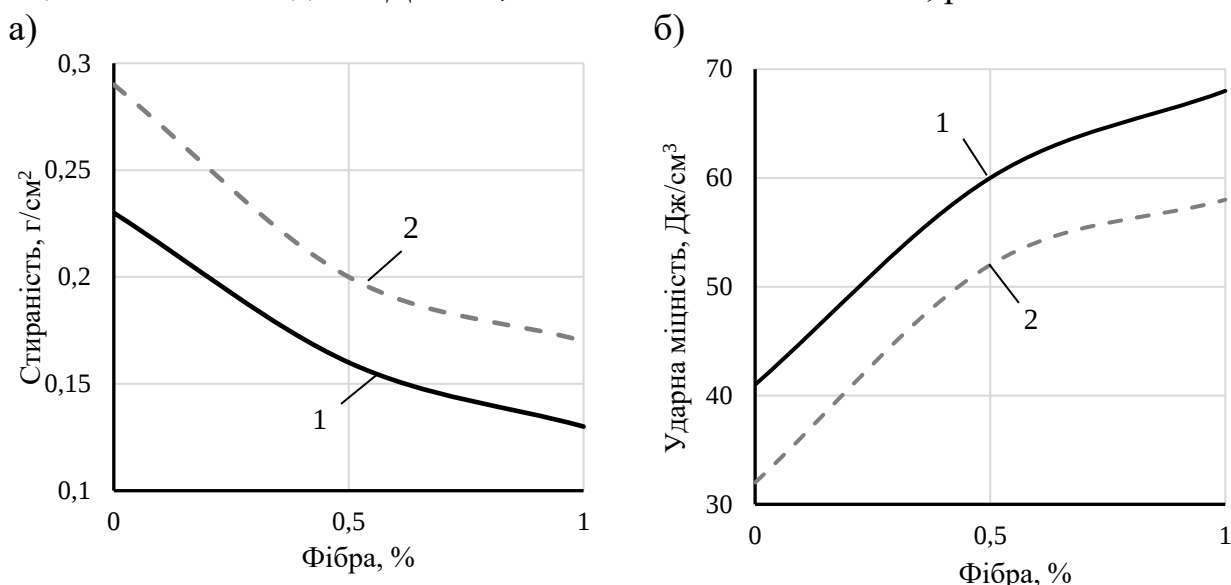


Рис. 6 Вплив вмісту поліпропіленової фібри в бетонній суміші на:

а) стираність; б) ударну міцність СУБ:

1 – бетон на механоактивованому в'язучому;

2 – бетон на в'язучому без механоактивації

Виконані експериментальні дослідження повністю підтверджують висловлену гіпотезу про підвищення властивостей самоущільнюючого бетону (міцність при стиску, стійкість до стираності, ударна міцність) шляхом оптимізації його складу та застосування інтенсивної роздільної технології виготовлення бетонної суміші.

Процес механоактивації портландцементу в промисловому виробництві самоущільнюючих бетонних сумішей реалізовано в виготовленому АТ «ОЗРСС» швидкісному змішувачі моделі СВ-2М. У швидкісний змішувач послідовно загрузають віддозовані компоненти цементоводної суспензії, а саме: воду замішування, суперпластифікатор Релаксол-Супер ПК, портландцемент, мікрокремнезем і поліпропіленове волокно. Після 120-и секундного швидкісного змішування висококонцентрована цементна суспензія

подається в ординарний бетонозмішувач примусової дії, де вже знаходяться гранітний щебінь фракцій 5-10 і 10-20 мм та кварцовий пісок.

Технологічна схема виготовлення самоущільнюючої бетонної суміші на механоактивованому портландцементі включає в себе (рис. 7): склад портландцементу (1), піску кварцового (2), гранітного щебню фракції 5-10 та 10-20 мм (3, 4), мікрокремнезему (5), проміжний склад поліпропіленової фібри (6), проміжні склади цементу, піску, гранітного щебню, мікрокремнезему (7), вагові дозатори цементу, піску, гранітного щебню, мікрокремнезему і поліпропіленової фібри (8), резервуар з водою замішування (9), резервуар концентрованого (33%) суперпластифікатору Релаксол-Супер ПК (11), дозатор води замішування (10), дозатор суперпластифікатору (12), швидкісний змішувач турбулентного типу СВ-2 М (13), тихохідний бетонозмішувач примусової дії (14). Портландцемент зі складу (1) надходить на проміжний склад (7), а звідти через дозатор (8) в швидкісний змішувач (13). В швидкісний змішувач дозуються також мікрокремнезем (5), поліпропіленова фібра (6), вода замішування (9) та концентрований суперпластифікатор Релаксол-Супер ПК (11). В швидкісний змішувач (13) надходить також кварцовий пісок (2) та гранітний щебінь (3, 4) з проміжних складів (7) через дозатори (8). Після швидкого змішування в (13) суміш надходить в (14) для подальшого перемішування.

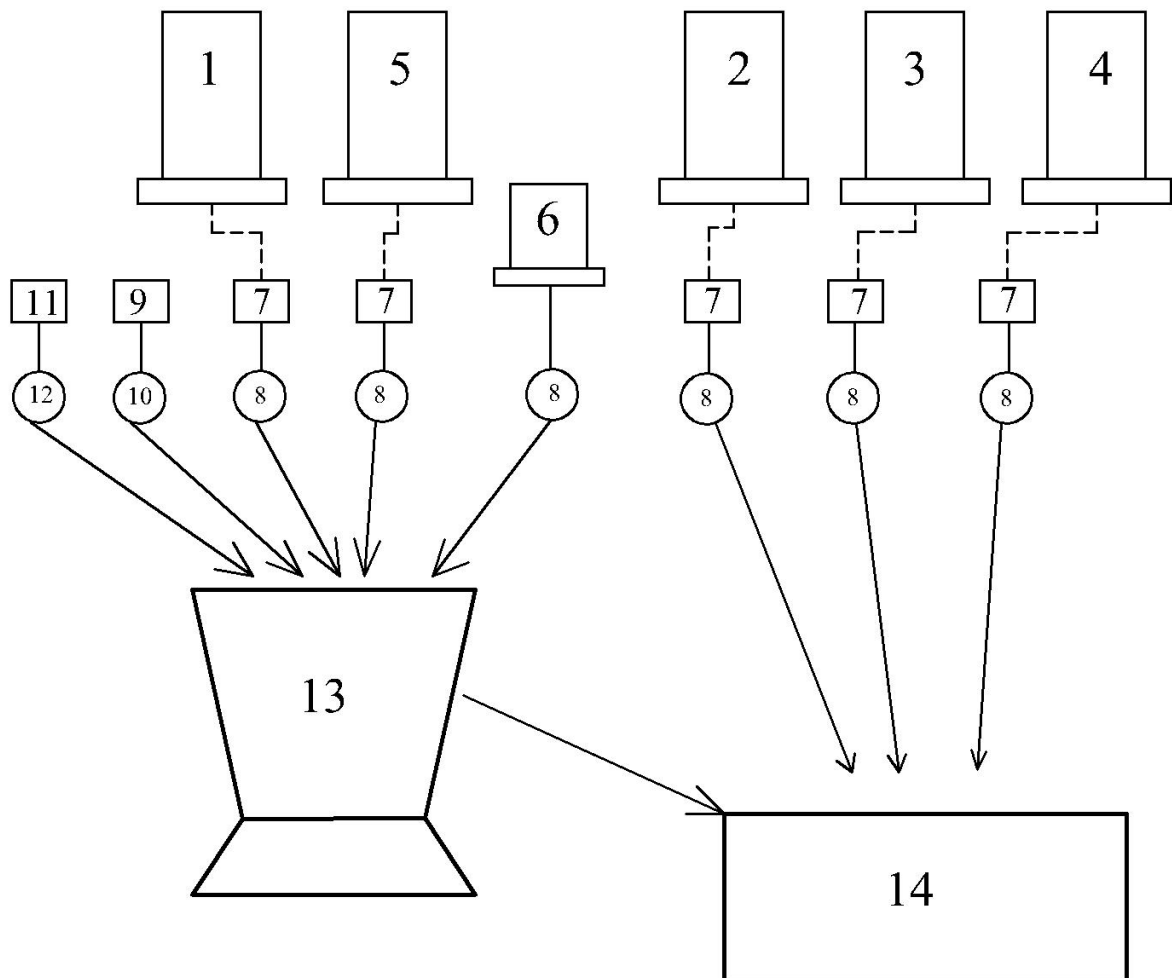


Рис. 7 Технологічна схема виробництва самоущільнюючої дисперсно-армованої бетонної суміші

Після 120-ти секундного швидкісного змішування цементна суспензія з добавкою мікрокремнезему та поліпропіленової фібри за допомогою гнучкого шлагу подається в тихохідний бетонозмішувач (14), де вже знаходяться ретельно перемішані віддозовані компоненти бетонної суміші – пісок кварцовий, гранітний щебінь фракції 5-10 та 10-20 мм. Перемішування цементної суспензії з заповнювачами в ньому протікає впродовж 240 – 300 с, після чого суміш подається на бетонування.

За результатами дисертаційної роботи в промислових умовах виготовлено 18 м³ бетонної суміші по інтенсивній роздільній технології з використанням швидкісного змішувача СВМ-2М. Активована бетонна суміш була використана для влаштування 115 м² бетонного полу відкритого складу на території ТОВ «Ростдорстрой» в м. Одесі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, яка полягає в розробці інтенсивної роздільної технології виготовлення самоущільнюючих бетонних сумішей та бетонів на їх основі з підвищеними механічними характеристиками. Основними висновками, які відображають результати дисертаційної роботи, є наступні:

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість зниження ефективної в'язкості цементовміщуючих суспензій внаслідок механоактивації їх в швидкісному змішувачі. Сумісний вплив від дії швидкісного змішування в присутності суперпластифікатору полікарбоксилатного типу Релаксол-Супер ПК (1%) та мікрокремнезему (10%) викликає синергетичний ефект, що призводить до зниження вихідної ефективної в'язкості цементовміщуючої суспензії з 2900 до 45 сП, тобто більше ніж в 60 разів. Додаткове введення в суспензію 1% поліпропіленової фібри викликає збільшення η , проте різниця в величинах в'язкості залишається суттєвою – 2900 сП (механоактивація суспензії відсутня; МК=10%; Ф=0%) проти 148 сП (суспензія механоактивована; МК=10%; Ф=1%).

2. Вивчено особливості впливу механоактивації на терміни тужавлення та екзотермічний розігрів твердіючого цементного тіста. Показано, що застосування механоактивації знижує нормальну густоту та прискорює тужавлення цементного тіста в порівнянні з контрольним в середньому на 20...30%, а також підвищує пік екзотермічного розігріву з 51 до 63 °С.

3. Вивчено особливості впливу механоактивації портландцементу на усадочні деформації твердіючого цементного каменю та його міцність при стиску. Показано, що застосування механоактивації призводить до зниження усадки цементного каменю в 28-ми денному віці на 8...10% в порівнянні з контролем. Усадочні деформації цементного каменю від впливу механоактивації в'язучого в присутності 1% поліпропіленової фібри знижуються від 1,40 до 0,57 мм/м, тобто більше ніж в 2 рази в порівнянні з

контролем. Міцність цементного каменю при цьому підвищується з 62,4 до 93,1 МПа, тобто майже на 50%.

4. Інтенсивна роздільна технологія приготування самоущільнюючої бетонної суміші в присутності водоредукуючої добавки Релаксол-Супер ПК (1,5%), мікрокремнезему (10%) та поліпропіленової фібри (1%) забезпечує в 28-ми денному віці одержання бетону з міцністю при стиску 55 МПа, що в 2,2 рази перевищує міцність контрольних зразків.

5. Введення в самоущільнюючу бетонну суміш на не механоактивованому в'язучому поліпропіленового волокна призводить до зниження величини стираності з 0,29 г/см² (фібра відсутня) до 0,16 г/см² (наявність в суміші 1% фібри), тобто більше ніж на 40%. Сумісний вплив механоактивації та поліпропіленової фібри ще в більшій мірі знижує стираність СУБ, величина якої не перевищує 0,13 г/см². Зростання вмісту поліпропіленового волокна від 0 до 1% призводить також до підвищення ударної міцності СУБ на механоактивованому в'язучому з 41 Дж/см³ до 69 Дж/см³, тобто більше ніж на 40%.

6. Здійснено випуск дослідно-промислової партії дисперсно-армованої самоущільнюючої бетонної суміші для влаштування бетонної підлоги відкритого складу готової продукції на виробничих площах ТОВ «Ростдорстрой» в м. Одеса.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Барабаш І.В., Гаращенко Д.П., Ксеншкевич Л.Н. Механоактивация портландцемента – способ активного управления прочностью бетона. *Вісник Одеської національної академії будівництва та архітектури*, 2016, № 65. С. 120–124.
2. Барабаш І.В., Ксьоншкевич Л.М., Гаращенко Д.П. Вплив багатокомпонентних добавок на ефективну в'язкість механоактивованих цементно-вміщуючих суспензій. *Збірник наукових праць українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 16. С. 96–101.

Стаття у виданні, яке індексується Scopus

3. Barabash I., Harashenko D. Mechanoactivation of the Portland cement in technology of manufacturing self-compacting concrete. *Eastern – European journal of enterprise technologies*. 2018. No.3/6 (93). P.12–17.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Гаращенко Д.П. Повышение эффективности использования микрокремнезема в портландцементе. Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых. Могилев: ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017, С. 174.

5. Гаращенко Д.П., Магур Ю.Т., Кумбаса И., Пявчик А.Г. Механоактивация и ее влияние на структурно-механические свойства дисперсно-армированных цементосодержащих композиций. *Збірник студентських наукових праць*. Одеса: ОДАБА, 2017. С. 148–155.

6. Барабаш И.В., Ксеншкевич Л.Н., Гаращенко Д.П. Ресурсосберегающая технология получения самоуплотняющихся бетонов. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективні технології в міському будівництві та господарстві». Одеса.: ОДАБА, 2018. С. 152–157.

7. Барабаш І.В., Гаращенко Д.П., Ксьоншкевич Л.М. Експериментально-статистичне моделювання в технології отримання самоущільнюючого бетону. Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 79–84.

8. Гаращенко Д.П., Барабаш И.В. Самоуплотняющиеся бетоны на механоактивированном цементосодержащем вяжущем. Тези доповідей 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії. Одеса: ОДАБА, 2018 р. С. 26.

9. Барабаш И.В., Ксеншкевич Л.Н., Гаращенко Д.П. Самоуплотняющиеся смеси для устройства бетонных полов. Тези доповідей III міжнародної конференції. «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд». Одеса: ОДАБА, 2019 р. С. 29.

АНОТАЦІЯ

Гаращенко Д.П. Дисперсно-армований самоущільнюючий бетон на механоактивованому портландцементі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Одеська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2021.

Дисертаційна робота присвячена теоретичному і експериментальному дослідженню самоущільнюючого бетону (СУБ) на механоактивованому портландцементу з використанням місцевих інертних заповнювачів. Оптимізовані режими швидкісного змішування цементовміщуючих суспензій, що забезпечують граничне руйнування її початкової структури.

Розроблені режими інтенсивної роздільної технології (ІРТ) та склади СУБС, які дають можливість одержувати розплив конусу суміші не менше 60см

Показано, що використання ІРТ в сукупності з водоредукуючою добавкою Релаксол-Супер ПК (1,5%), мікрокемнеземом (10%) та пропіленою фіброю (1%) дає можливість одержувати самоущільнюючі бетони на місцевих заповнювачах з високою однорідністю по висоті виробу. Міцність при стиску СУБ в 28-ми денному віці досягає 55 МПа. Введення в самоущільнюючу бетонну суміш на не механоактивованому в'язучому поліпропіленового волокна призводить до зниження величини стираності з 0,29 г/см² (фібра

відсутня) до $0,16 \text{ г/см}^2$ (наявність в суміші 1% фібри), та підвищення ударної міцності з 41 Дж/см^3 до $60 \dots 69 \text{ Дж/см}^3$.

Ключові слова: інтенсивна роздільна технологія, дисперсно-армований бетон, механоактивація, фібра, водоредукуюча добавка, стираність, ударна міцність.

АННОТАЦИЯ

Гарашченко Д.П. Дисперсно-армированный самоуплотняющийся бетон на механоактивированном портландцементе. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. - Одесская государственная академия строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2021.

Диссертационная работа посвящена теоретическому и практическому исследованию самоуплотняющегося бетона (СУБ) на механоактивированном портландцементе с использованием местных инертных заполнителей.

Разработанная раздельная технология (ИРТ) в сочетании с составами самоуплотняющихся бетонных смесей позволила получать расплыв конуса смеси не меньше 60 см с использованием местных заполнителей.

Показано, что ИРТ приготовления самоуплотняющейся бетонной смеси в присутствии водоредуцирующей добавки Релаксол-Супер ПК (1,5%), микрокремнезема (10%) и полипропиленовой фибры (1%) обеспечивает в 28-ми суточном возрасте прочность самоуплотняющегося бетона не менее 55 МПа, что в 2,2 раза больше по сравнению с контролем. Механические испытания СУБ показали снижение его истираемости с $0,29$ (контрольный) до $0,16 \text{ г/см}^2$ (ИРТ), а также повышение ударной стойкости с 41 до 69 Дж/см^3 .

Ключевые слова: интенсивная раздельная технология, дисперсно-армированный бетон, механоактивация, фибра, водоредуцирующая добавка, истираемость, ударная стойкость.

ABSTRACT

Harashchenko D.P. Fiber reinforced self-compacting concrete on mechanoactivated Portland cement. – Qualification scientific work as manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.23.05 – Building materials and products. – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

Dissertation is devoted to theoretical and practical investigation of self-compacting concrete on mechanoactivated Portland cement with using of local inert aggregates.

The quality of the used inert aggregates (quartz sand, granite-crushed stone) plays a special role in the SCC production technology. Deviation of their characteristics from the required ones can cause segregation of the concrete mixture

and, consequently, lead to a deterioration in the homogeneity of the hardened concrete over the volume of the product or structure. Improving the quality of concrete due to the use of a finely dispersed mineral additive to cement, and, if necessary, fibers, create additional technological difficulties in ensuring their uniform distribution in the volume of the concrete mixture. An umbrella approach related to both the homogenization of the concrete mixture and the increase in the potential of cement is achieved by using an intensive separate technology (IST) for preparing a self-compacting concrete mixture. The proposed technology of SCC production is substantiated by the possibility of effective control of the viscosity of cement-water suspensions, which, in general, provide the mobility of the concrete mixture.

Separate preparation of a cement-water composition in a high-speed mixer with its subsequent mixing with aggregates in an ordinary concrete mixer radically changes the priorities of the technology for the production of concrete mixture, including self-compacting. The idea is substantiated that to use a separate technology allows optimizing the modes of high-speed mixing of highly concentrated cement-containing suspensions, ensuring their maximum homogeneity. Particular attention is paid to the study of the influence of the polycarboxylate superplasticizer Relaxol-Super PC, microsilica and polypropylene fiber on the effective viscosity of the cement-containing suspension. A comparative analysis of the influence of the initial prescription factors on its value is presented. It was found that the mechanical activation of the cement-containing suspension in the presence of the Relaxol-Super PC additive leads to the ultimate destruction of the initial structure, which is expressed in a decrease in its effective viscosity from 1500 (no mechanical activation) to 19 cPs (mechanical activation of the suspension for 90 ... 120 sec), almost 80 times.

To study the simultaneous influence of these factors on the water content in the concrete mixture of a given mobility, obtained with both mechanical activation of the binder and the traditional technology, a 3-factor experiment was performed. The value of prescription factors (in % by weight of cement) was taken in the following ranges:

X_1 - polypropylene fiber – $(0.5 \pm 0.5)\%$;

X_2 - microsilica – $(5 \pm 5)\%$;

X_3 - Relaxol-Super PC – $(1 \pm 0.5)\%$

It is established that the consumption of mixing water depends on the content of variable factors in the concrete mixture and ranges from 175 l (minimum amount) to 232 l (maximum content) in terms of 1 m^3 . The decisive influence on the amount of water mixing the self-compacting concrete mixture with the superplasticizer Relaxol - Super PC was revealed. Increasing the concentration of water-reducing additives from 0.5 to 1.5% leads to a decrease in the amount of mixing water by an average of 14... 16% (25... 30 l) per 1 m^3 of concrete mix. At the same time, partial replacement of Portland cement with microsilica (up to 10%) causes an increase in the amount of water kneading self-compacting concrete mixture by an average of 8... 10%. To a much lesser extent, in comparison with microsilica, the amount of mixing water increases the introduction of polypropylene fiber into the concrete mixture. In

the presence of 1% fiber in the mixture, the amount of kneading water increases by no more than 1.5... 2%.

The influence of the above factors on the compressive strength of self-compacting concrete was studied. Thus, for concrete on mechanically activated binder at 28 days of age, the strength of concrete increases from 29.4 MPa (factors X_1 , X_2 and X_3 are at the level of "-1") to 57.7 MPa (factors X_1 , X_2 and X_3 are at the level of "+1"). The combined effect of the above factors in combination with the mechanical activation of the binder helps to increase the compressive strength of self-compacting concrete at 28 days of age (compared to control) from 24.7 to 57.7 MPa, more than 2.3 times. It should be noted the insignificant influence of polypropylene fiber on the increase of compressive strength of self-compacting concrete on both mechanically activated Portland cement and binder, which was not subject to mechanical activation. The introduction of a mixture of 1% polypropylene fiber causes an increase in compressive strength of concrete by no more than 2-3%.

The developed separate technology in combination with the compositions of self-compacting concrete mixtures made it possible to obtain a cone of the mixture of at least 60 cm using local aggregates. It is shown that IST for the preparation of a self-compacting concrete mixture in the presence of a water-reducing additive Relaxol-Super PC (1.5%), microsilica (10%) and polypropylene fiber (1%) provides at 28 days of age the strength of self-compacting concrete at least 55 MPa, which is 2.2 times more than in the control. Mechanical tests of the SCC showed a decrease in its abrasion from 0.29 (control) to 0.16 g/cm² (IST), as well as an increase in impact resistance from 41 to 69 J/cm³.

The performed experimental studies fully confirm the hypothesis of increasing the properties of self-compacting concrete (compressive strength, abrasion resistance, impact strength) by optimizing its composition and the use of intensive separate technology for the production of concrete mix.

According to the results of the dissertation work in industrial conditions, 18 m³ of concrete mixture was made by intensive separate technology using a high-speed mixer SVM-2M.

Key words: intensive separate technology, fiber reinforced concrete, mechanoactivation, fiber, water-reducing additive, abrasion resistance, impact resistance.