

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Українська державна академія залізничного транспорту

**БЄЛІЧЕНКО Олена Анатоліївна**

УДК 666.972:691.322

**ДРІБНОЗЕРНИСТІ ДОРОЖНІ БЕТОНИ, АКТИВОВАНІ  
ВУГЛЕЦЕВИМИ КОЛОЇДНИМИ ЧАСТИНКАМИ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Толмачов Сергій Миколайович**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет, доцент кафедри технології  
дорожньо-будівельних матеріалів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Зайченко Микола Михайлович**,  
Донбаська національна академія будівництва  
і архітектури, завідувач кафедри технології будівельних  
конструкцій, виробів і матеріалів;

кандидат технічних наук, доцент  
**Сопов Віктор Петрович**,  
Харківський національний університет будівництва  
і архітектури, професор кафедри фізико-хімічної  
механіки та технології будівельних матеріалів і виробів.

Захист відбудеться «28» лютого 2013 р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «\_\_» січня 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



Г.Л. Ватуля

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні тенденції розвитку будівельного матеріалознавства спрямовані на розробку нових технологій одержання високоякісних і довговічних цементних композитів. Управління процесами кристалізації на різних рівнях структури дозволяє забезпечити задані характеристики бетонів.

Тому важливо встановити закономірності структуроутворення на всіх етапах твердіння цементних в'язучих в бетонних виробках. Швидкістю процесу структуроутворення і фізико-механічними властивостями цементних композитів, що формуються, можна управляти за допомогою різних фізичних, фізико-хімічних і фізико-механічних активаційних прийомів. У технології бетонів для удосконалення мезо- та макроструктури застосовують тонкоподрібнені мікронаповнювачі з розміром частинок  $10^{-5}$  –  $10^{-7}$  м. Застосування мікронаповнювачів не завжди приводить до позитивного ефекту, оскільки вони підвищують водоцементне відношення, що може привести до зниження міцності і довговічності бетону. Частинки такого рівня дисперсності не можуть бути центрами кристалізації, вони лише здатні ущільнювати мікроструктуру бетону. На відміну від них вуглецеві колоїдні частинки можуть впливати на процеси структуроутворення, які починаються з субмікроструктури, і далі продовжуються на мікроструктуру. Тому актуальним є виявлення механізму і ролі вуглецевих колоїдних частинок (ВКЧ) в технології дрібнозернистих цементних бетонів, у вивченні закономірностей структуроутворення дрібнозернистих бетонів, що містять вуглецеві колоїдні частинки з точки зору класичних уявлень та закономірностей колоїдної та фізичної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у складі держбюджетної теми згідно плану НДДКР за замовленням Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) № ДР 0110U004478 «Розробити рекомендації та технологічний регламент на виготовлення бетонних бортових каменів з морозостійкістю не менше F300», госпдогвірної теми за замовленням ПАТ «Будівельне управління – 813» № ДР 0109U008122 «Науково-технічний супровід при будівництві цементобетонних верхніх шарів аеродромного покриття аеропорту м. Харкова»

**Мета дослідження** – вивчення механізму структуроутворення на різних рівнях структури дрібнозернистого дорожнього цементного бетону в присутності вуглецевих частинок колоїдних розмірів.

### **Задачі дослідження:**

- провести аналітичний огляд способів активації цементного в'язучого;
- вивчити і розвинути теоретичні уявлення про молекулярну структуру і електроповерхневі властивості вугільних частинок і їх впливу на процеси структуроутворення цементних композитів;

- вивчити фізико-хімічні явища, що відбуваються на різних рівнях структури бетонів в присутності вуглецевих колоїдних частинок;
- дослідити технологічні властивості бетонних сумішей, фізико-механічні та експлуатаційні властивості цементних композитів з вуглецевими колоїдними частинками;
- розробити технологію виготовлення дрібнозернистих дорожніх бетонів з вуглецевими частинками колоїдних розмірів і провести виробничу перевірку отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження** – дрібнозернисті дорожні цементні бетони з вуглецевими колоїдними частинками.

**Предмет дослідження** – механізми та явища, що відбуваються при структуроутворенні на різних рівнях структури в дрібнозернистих дорожніх бетонах у присутності вуглецевих колоїдних частинок.

**Методи дослідження.** Дослідження фізико-хімічних властивостей водних розчинів з ВКЧ проводили за допомогою кондуктометричного методу. Для вивчення структури ВКЧ застосовували оптичні та електронно-мікроскопічні дослідження. Електрокінетичний потенціал ( $\xi$  – потенціал) гідрозолів з ВКЧ, суспензій цементу і мономінералів цементного клінкеру визначали методом електрофорезу за допомогою приладу Чайковського. Вивчення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей бетонів здійснювали за допомогою стандартних методів дослідження. Для оцінки якості структури цементного каменю і бетону використані методи оптичної та растрової електронної мікроскопії. Дослідження новоутворень цементного каменю здійснювали за допомогою рентгенофазового аналізу.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вивчено види, форма і структура вуглецевих колоїдних частинок. Розвинуто теоретичні уявлення про молекулярну структуру і електроповерхневі властивості вугільних частинок і їх впливу на процеси структуроутворення цементних композитів. Встановлено, що завдяки електронній складовій провідності вугільні частинки коксового пилу будуть переходити з поверхні частинок цементу, який розчиняється, на поверхню продуктів гідратації цементу, як кристалогідратів, так і гідросилікатів кальцію.

2. Вперше досліджено в'язкісні властивості цементного тіста з ВКЧ. Встановлено, що введення вуглецевих колоїдних частинок в цементне тісто приводить до збільшення рухомості і зниження в'язкості цементного тіста з ВКЧ.

3. Вперше показано, що ВКЧ, які мають негативний заряд і виступають у ролі центрів кристалізації, сприяють утворенню електрогетерогенних контактів з позитивно зарядженими гідроалюмінатами і зернами етрінгіту. Встановлено, що в початковий період твердіння прискорюється ріст кристалів, в структурі бетону з ВКЧ утворюються просторові каркаси, навколо і усередині яких відбувається кристалізація новоутворень, що інтенсифікує процеси структуроутворення.

4. Виявлено закономірності зміни фізико-механічних властивостей цементних систем з різним вмістом вуглецевих колоїдних частинок і встановлено, що ефективність впливу ВКЧ на властивості цементних композитів

знижується при переході від субмікрорівня до мікрорівня і далі мезо- і макрорівня.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено методика визначення рухомості цементного тіста з ВКЧ у динамічному режимі (при впливі вібрації) та захищено патентом України на спосіб визначення в'язкості цементного тіста. Запропоновано склади дрібнозернистих бетонів з вуглецевими колоїдними частинками. Отримано патент України на склади дрібнозернистих бетонів з вуглецевими частинками. Розроблено технологію виготовлення бетонної суміші, що містить вуглецеві колоїдні частинки. За результатами досліджень була випущена дослідна партія вібропресованих бетонних тротуарних бортових каменів на цементобетонному заводі ТОВ «Геомакс», розташованому в с.м.т. Комсомольський Зміївського району Харківської області. При особистій участі автора розроблено нормативний документ ТР 02071168/31911658 - 412:2012 «Технологічний регламент на виготовлення каменів бетонних бортових з морозостійкістю не менше F300».

**Особистий внесок здобувача полягає в наступному:**

- розвинуто теоретичні уявлення про молекулярну структуру і електроповерхневі властивості вугільних частинок і їх впливу на процеси структуроутворення цементних композитів;
- вивчена структура вуглецевих колоїдних частинок і проведено фізико-хімічні дослідження гідрозолів з різним вмістом ВКЧ;
- розроблена методика визначення рухомості цементного тіста при впливі вібрації і проведено дослідження в'язкості і термінів тужавлення цементного тіста з ВКЧ;
- досліджено вплив ВКЧ на фізико-механічні та експлуатаційні показники цементних композитів;
- проведено оптичні та електронно-мікроскопічні дослідження структури цементних композитів з вуглецевими колоїдними частинками;
- запропоновано склади і розроблено технологію виготовлення дрібнозернистих цементних бетонів, що містять ВКЧ;
- проведено виробничу перевірку отриманих результатів, випущено дослідно-промислову партію бетонних тротуарних бортових каменів у кількості 1500 штук.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались на Міжнародному форумі «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» (м. Одеса, 14 – 16 жовтня 2009 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві і реконструкції будівель та споруд» (м. Харків, 20 – 21 квітня 2010 р.); III Міжнародній конференції молодих вчених «Геодезія, архітектура та будівництво 2010 (GAC – 2010)» (м. Львів, 25 – 27 листопада 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Бетони та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва і застосування» (м. Київ, 16 – 17 лютого 2011 р.); X Міжнародній конференції молодих вчених, аспірантів, студентів «Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій» (м. Макіївка, 21 –

22 квітня 2011 р.); 4 Международной конференции по ремонту бетона «Concrete Solutions» (4-th International Conference on Concrete Repair 26<sup>th</sup> - 28<sup>th</sup> September 2011), 26 – 28 вересня 2011 р., м. Дрезден, Німеччина; 18 Міжнародній конференції з будівельних матеріалів «18 Ibausil», 12 – 15 вересня 2012 р., м. Веймар, Німеччина; наукових конференціях викладачів і співробітників ХНАДУ, УкрДАЗТ, ХДТУБА (ХНУБА) (м. Харків, 2009 – 2012 рр.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 16 наукових статтях, у тому числі 7 – у спеціалізованих виданнях, рекомендованих ДАК України; 5 – у матеріалах наукових конференцій; 4 – у зарубіжних виданнях, та отримано 2 патенти України на корисну модель.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 143 найменувань і 3 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 164 сторінки, в тому числі 142 сторінки основного тексту, 57 рисунків, 30 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації. Сформульована мета та поставлені задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Відображено наукові положення і результати досліджень, які виносяться на захист. Наведено відомості про структуру дисертації, публікації та апробацію роботи.

У **розділі 1** виконано аналітичний огляд впливу різних факторів на процеси структуроутворення в бетоні. Вивченням процесів структуроутворення в бетонах займалися: І.Н. Ахвердов, В.І. Бабушкін, В.М. Вировий, І.Г. Гранковський, І.М. Грушко, Б.В. Гусєв, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.І. Классен, М.М. Круглицький, Т.Ю. Любімова, О.П. Мчедлов-Петросян, А.А. Пащенко, А.М. Пługін, А.А. Пługін, М.М. Сичов, С.М. Толмачов, А.В. Ушерев-Маршак. Прискорити процеси структуроутворення в бетоні можливо за допомогою різних активаційних впливів. Показано, що активація компонентів бетонної суміші спрямована на інтенсифікацію в'язучих властивостей цементу, або на зміну властивостей поверхні зерен заповнювача, або на модифікацію води зачинення. Активаційні впливи можуть бути фізичними, хімічними, фізико-хімічними, фізико-механічними. Дослідженням впливу активаційних впливів в період структуроутворення бетонів займалися: В.І. Бабушкін, Л.О. Белова, В.О. Бірюков, І.М. Грушко, Б.В. Гусєв, М.Г. Дюженко, В.І. Классен, П.Г. Комохов, Т.В. Кузнецова, В.А. Матвієнко, А.Ф. Михайлов, О.П. Мчедлов-Петросян, В.П. Сізов, С.Є. Солдатенко, В.І. Соломатов, А.Д. Циремпілов, В.В. Чістяков, Л.Г. Шпинова, в тому числі хімічної активацією – В.Г. Батраков, В.Б. Ратінов. Загальними недоліками усіх фізичних методів активації води зачинення є складність визначення оптимальних параметрів активації і її тривалості у виробничих умовах, необхідність оснащення технологічних ліній додатковим спеціальним устаткуванням для активації води і наявності кваліфікованого персоналу.

Протягом кількох десятиліть в технології важких бетонів для підвищення експлуатаційних характеристик готових виробів в якості модифікаторів структури застосовують тонкоподрібнені мікронаповнювачі. Дослідженнями по застосуванню мікронаповнювачів займалися такі вчені, як Ю.М. Баженов, Г.І. Бердов, В.М. Вировий, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, О.Г. Ольгінський, В.І. Соломатов, Е.Д. Щукін та їхні учні. Є великий практичний досвід застосування в якості дисперсних мінеральних наповнювачів (мікронаповнювачів) золи-винесення, шлаків,

мікрокремнезема та ін. Мікронаповнювачі, які застосовуються в технології бетонів, отримують шляхом механічного подрібнення в кульових млинах. Дисперсність, що досягається таким способом подрібнення до рівня  $10^{-6}$  м, є граничною. Частинки такого рівня дисперсності не можуть бути центрами кристалізації, вони лише здатні ущільнювати мікроструктуру, на відміну від колоїдних частинок, що мають більш тонку дисперсність, які можуть сприяти прискоренню процесів кристалізації на субмікро-і мікроструктурних рівнях. Такий вплив ґрунтується на колоїдно-хімічних взаємодіях. Вивченням поверхневих явищ і впливом вуглецевих частинок займалися О.Г. Ольгінський, А.А. Пашенко, А.М. Плугін, А.А. Плугін, П.А. Ребіндер, В.В. Тімашев, Ю.Г. Фролов, В.М. Шмалько, Е.Д. Щукін. Маловивченою залишається сфера застосування матеріалів попутного видобутку вугледобувних та вуглепереробних промисловостей, в першу чергу коксового пилу. Це пов'язано з тим, що коксовий пил є дрібнодисперсним та його застосування в сухому вигляді досить складно. Тому необхідно вдосконалювати способи введення вуглецевовмісних

дисперсних матеріалів в цементні системи. Одним із способів застосування вугільного пилу в цементних системах може бути ультразвуковий спосіб отримання водного розчину – гідрозолу, що містить вуглецеві колоїдні частинки.

Вугілля і продукти його термічної переробки (продукти коксування), зокрема, коксовий пил, містять дрібнодисперсні частинки. Одним із способів підвищення дисперсності вуглецевих частинок є ультразвукове диспергування. Для виділення високодисперсних вуглецевих частинок, зокрема, з коксового пилу, готували водні розчини шляхом ультразвукового диспергування коксового пилу у воді. Такий спосіб виділення дрібнодисперсних частинок з коксового пилу дозволяє отримувати стабільні колоїдні водні розчини – гідрозолі, концентрація яких складає 0,9 г/літр. Фізико-хімічні дослідження водних розчинів вуглецевих частинок показали, що такі частинки являють собою колоїдні системи розміром  $10^{-6} - 10^{-8}$  м.

Однак, оскільки до теперішнього часу не сформульовано теоретичні передумови, що дозволяють розкрити механізм впливу ВКЧ на цементні системи, одним із завдань даної роботи є розробка таких теоретичних передумов з точки зору основних законів фізичної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем.

У розділі 2 проводиться аналіз існуючих даних про властивості коксового пилу і розвиток уявлень про його вплив на процеси твердіння цементно-водних сумішей, розчинів і бетонів. Коксовий пил має практично такий же мінеральний і хімічний склад, що і кам'яне вугілля і кокс. Як продукт деструкції коксу частинки коксового пилу являють собою структурні елементи його зерен. Тому,

для правильного уявлення частинок коксового пилу як структурних елементів цементного каменю, проведені дослідження геометричних характеристик і електроповерхневих властивостей вугілля і коксу.

У вугіллі за аналогією з бетонами розрізняють мікро- і макроструктуру. За макроструктурою всі вугілля поділяють на однорідні або смугасті (рис. 1). При більш детальному вивченні структури кам'яного вугілля спостерігаються світлі глобули - близькі до сферичних частинки, розміром 5 – 6 мкм (рис. 2, а). Фібрилярні структурні елементи утворені з глобул по 3 – 5 штук у вигляді ланцюжків товщиною в одну глобулу (рис. 2, б). Дослідження фрагменту спечених коксових зерен показали, що макроструктура коксу в точності відповідає макроструктурі кам'яного вугілля, тобто представлена флокулами і фібрами таких же розмірів.

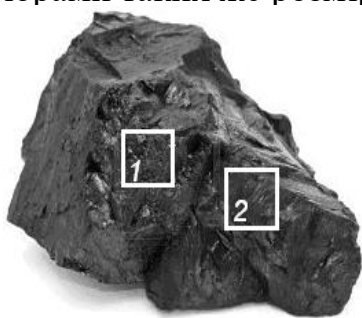


Рис. 1. Кам'яне вугілля

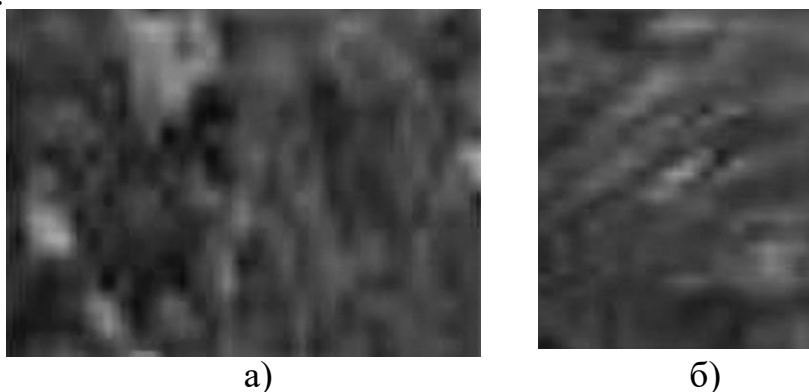


Рис. 2. Збільшений фрагмент кам'яного вугілля (збільшення у 10 разів): а) фрагмент 1 з глобулярною структурою; б) фрагмент 2 з фібрилярною структурою

Взаємодія коксових частинок з елементами структури цементного каменю здійснюється під впливом їх електроповерхневих властивостей, у тому числі електропровідності кам'яного вугілля – головної складової коксових частинок. Відомо, що електропровідність кам'яного вугілля – змішана, іонно-електронна. Електронну провідність кам'яного вугілля слід пов'язувати з наявністю структурних елементів типу графіту. Іонну провідність кам'яного вугілля слід пов'язувати із золами, які представляють собою дисперсні частинки, що складаються, в основному, з оксидів  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Середній вміст золи у коксовому пилу становить 9 – 13 %, а вуглецю – 88 – 91 %. Такі частинки при контакті з водою, що міститься в кам'яному вугіллі, мають негативний заряд і утворюють подвійний електричний шар (ПЕШ). Противоіони ПЕШ (катіони металів) і обумовлюють іонну провідність, яка при цьому є поверховою.

За аналогією з металами, паралельна спрямованість частинок золи коксового пилу (КП) обумовлена виникненням позитивного заряду (у відповідності з методом зображень), рівного за абсолютною величиною негативному заряду частинок золи (рис. 3, а) і електричного поля диполу, утвореного ними.

Частинки кремнезему і глинозему з великим негативним електроповерхневим зарядом мають дуже малі розміри (близько  $10 \text{ nm} = 100 \text{ \AA}$ ).



Вони адсорбуються на поверхні глобул вуглецю ( $5 - 6 \text{ мкм} = 5000 - 6000 \text{ nm}$ ). Частинка золи, опинившись між двома частинками вуглецю, викликає їх поляризацію в місці контакту і забезпечує достатньо міцний зв'язок.

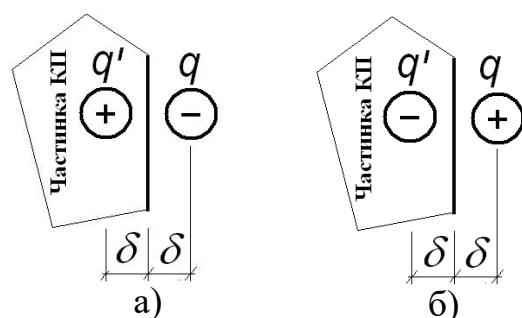


Рис. 3. Виникнення протизаряду  $q^1$  під впливом заряду адагулірованої зарядженої частинки: а) негативно зарядженої; б) позитивно зарядженої

Для коксу однією з найбільш важливих характеристик повинна бути міцність його зерен. За аналогією з формуванням оптимальної структури цементного розчину, найбільш міцним буде кокс з оптимальною упаковкою частинок золи між частинками вуглецю. Як і в цементному розчині, частинки золи обволікають (прилипають) вугільні частинки під впливом різних розмірів і сил зображення (поляризації вугільних частинок). При цьому в міцному коксі між частинками вуглецю повинен утворюватися один загальний шар. Йому і відповідає середній вміст золи в коксі ( $9 - 13 \%$ ). При більшій кількості золи зменшується кількість контактів між її частинками, частинками вуглецю і між негативно зарядженими частинками золи з'являються сили відштовхування. При меншій кількості золи частинки вуглецю зближуються на відстань, при якій частинки золи не вміщуються в зазорі, і кількість контактів також різко зменшується.

Розміри частинок силікатних складових золи відповідають розмірам частинок низькоосновних гідросилікатів кальцію (до  $100 \text{ \AA}$ ). Наявність в золі іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і води, в тому числі адсорбованої з повітря, а також співвідношення між  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{SiO}_2$  свідчать про утворення лужного середовища та гелеподібних низькоосновних гідросилікатів кальцію на поверхні частинок коксового пилу.

Відразу після замішування цементних систем водою ПЕШ, який утворюється на поверхні частинок цементу і зерен заповнювача, розтягнутий. Частинок коксового пилу будуть адсорбуватися на поверхні вихідних зерен цементу, прискорювати їх пептизацію і за рахунок створення сил відштовхування по нормалі викликати пластифікуючий ефект. При твердінні цементного каменю частинки коксового пилу будуть адагулірувати до поверхні зерен заповнювача, переходити з поверхні частинок цементу, що розчиняється, на поверхню продуктів гідратації цементу, як кристалогідратів, так і гідросилікатів кальцію, завдяки електронній складовій провідності вугільних частинок. За рахунок утворення міцного електрон-іонного зв'язку між усіма структурними елементами буде збільшуватися міцність мікроструктури цементного каменю. У зв'язку з проявом цих ефектів на поверхні структурних

елементів вказані ефекти будуть проявлятися при дуже незначній кількості пилу і лише в її оптимальній кількості.

Викладене підтверджує теоретичні уявлення про електроповерхневу і структуроутворюючу активність частинок коксового пилу, яка обумовлена їх змішаною провідністю (електронною та іонною).

У **розділі 3** наводяться характеристики матеріалів і методів досліджень, які використовувались. В експериментальних дослідженнях застосовувалися: портландцемент марки ПЦ I – 500 Н, пісок кварцовий з модулем крупності  $M_{кр} = 2,4$ , щебінь гранітний фракцій  $5 \div 10$  мм і  $10 \div 20$  мм, вуглецеві колоїдні частинки у вигляді водної суспензії (гідрозолу), концентрація яких складає 0,9 г/літр, вода відповідає вимогам нормативних документів, добавка суперпластифікатор Fm 21 системи WOERMENT (фірма BASF, Німеччина).

Дослідження фізико-хімічних властивостей води зачинення цементних композитів, яка містить різні концентрації вуглецевих колоїдних частинок (ВКЧ), проводили за допомогою контактного кондуктометричного методу. В'язкість гідрозолів з ВКЧ різних концентрацій визначали за допомогою скляного віскозиметра з діаметром капіляра 0,54 мм. Форму ВКЧ вивчали за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень. Визначення електрокінетичного потенціалу ( $\xi$  – дзета-потенціалу) гідрозолів з ВКЧ, суспензій цементу і мономінералів цементного клінкеру проводили за методикою, яка заснована на явищі електрофорезу. Рухомість цементного тіста оцінювали за вібров'язкістю (розпливом конусу при дії вібрації) і визначали за оригінальною розробленою методикою. Фізико-механічні властивості цементного каменю і бетону визначали за стандартними методами. Фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації цементного каменю і бетону проводили за допомогою рентгенофазового, оптичного та електронно-мікроскопічного аналізів. Експлуатаційні характеристики бетонів: водопоглинання, стиранність і морозостійкість визначали за допомогою стандартних методів. Для обробки експериментальних даних використовували математичні методи обробки результатів.

У **розділі 4** наведено результати експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку основних теоретичних положень про механізм впливу ВКЧ на структуру дрібнозернистих цементних бетонів.

Проводили дослідження фізичних властивостей води зачинення цементних композитів, яка містить різні концентрації ВКЧ. З отриманих значень електричного опору для гідрозолів була розрахована електрична провідність  $\lambda$  і питома електропровідність  $\chi$  досліджуваних розчинів. На графіках спостерігаються два екстремуми в області концентрацій 0,075 г/л і 0,6 г/л, що свідчить про наявність в гідрозолі двох областей критичної концентрації міцелоутворення (ККМ). Дослідження в'язкості показали, що мінімуми відносної в'язкості спостерігаються при концентраціях ВКЧ 0,075 г/л і 0,6 г/л.

Згідно з теоретичними передумовами про адсорбцію ВКЧ на позитивно заряджених ділянках цементного каменю і новоутвореннях, при яких відбувається відштовхування частинок і полегшується їх ковзання один відносно

одного, проводили дослідження впливу ВКЧ на рухомість і в'язкість цементного тіста. Для складів цементного тіста з різним вмістом ВКЧ спостерігаються зміни рухомості (розпливу конуса) цементного тіста. Для тіста з вмістом ВКЧ 0,075 г/л (що відповідає 0,0225 % від маси цементу) спостерігається збільшення розпливу конуса (рухомості) на 25 % у порівнянні з контрольним складом.

Досліджено вплив ВКЧ на властивості цементного в'язучого. Встановлено, що введення ВКЧ в оптимальних кількостях подовжує терміни схоплювання цементного тіста. Час початку схоплювання подовжується на 45 хв., а кінець тужавлення – на 1 годину 15 хв. Це підтверджує те, що у цементного тіста з ВКЧ підвищується електронегативність позитивно заряджених частинок цементу, що перешкоджає їх коагуляції і уповільнює процеси гідролізу і гідратації.

Визначення електрокінетичного потенціалу ( $\xi$  – дзета-потенціал) показали, що величина  $\xi$  – потенціалу гідрозолів з ВКЧ збільшується майже у 2 рази у порівнянні з електронегативністю коксового пилу, що забезпечує більш активну взаємодію з позитивними ділянками цементного в'язучого. Проводили вимірювання  $\xi$  – потенціалу суспензій мономінералів цементного клінкеру складу без ВКЧ і з оптимальним вмістом ВКЧ (табл. 1).

Дослідження показали (табл. 1), що введення ВКЧ до складу суспензій мономінералів трьохкальцієвого алюмінату і чотирьохкальцієвого алюмоферіту приводить до різкого збільшення електронегативності складів з оптимальним вмістом ВКЧ 0,0225 % від маси в'язучого.

Таблиця 1

Вплив ВКЧ на електрокінетичний потенціал суспензій цементу і мономінералів цементного клінкеру

Досліджуване в'язуче	Склад	$\xi$ – потенціал, мВ	$ \Delta\xi $ , мВ
Цемент	Контрольний склад	- 21,8	2,1
	з 0,0225 % ВКЧ	- 19,7	
Аліт (C <sub>3</sub> S)	Контрольний склад	- 99,74	53,06
	з 0,0225 % ВКЧ	- 46,68	
Беліт (C <sub>2</sub> S)	Контрольний склад	- 53,25	30,85
	з 0,0225 % ВКЧ	- 22,40	
Трьохкальцієвий алюмінат (C <sub>3</sub> A)	Контрольний склад	+ 38,79	85,51
	з 0,0225 % ВКЧ	- 46,72	
Чотирьохкальцієвий алюмоферіт (C <sub>4</sub> AF)	Контрольний склад	+ 64,12	166,92
	з 0,0225 % ВКЧ	- 52,80	

Дослідження фізико-механічних властивостей цементного каменю з оптимальним вмістом ВКЧ 0,0225 % від маси цементу (що відповідає 0,075 г/л) показали, що міцність віброущільнення каменю зростає в 1,5 – 1,9 разів, а пресованого в 1,5 рази у порівнянні з контрольним складом.

Електронно-мікроскопічні дослідження структури віброущільнення цементного каменю у віці 28 діб після ТВО показали (рис. 4), що для

контрольного складу (рис. 4, а) характерна пухка крупнокристалічна структура з хаотичним розташуванням кристалічних зростків з порами різного діаметру.

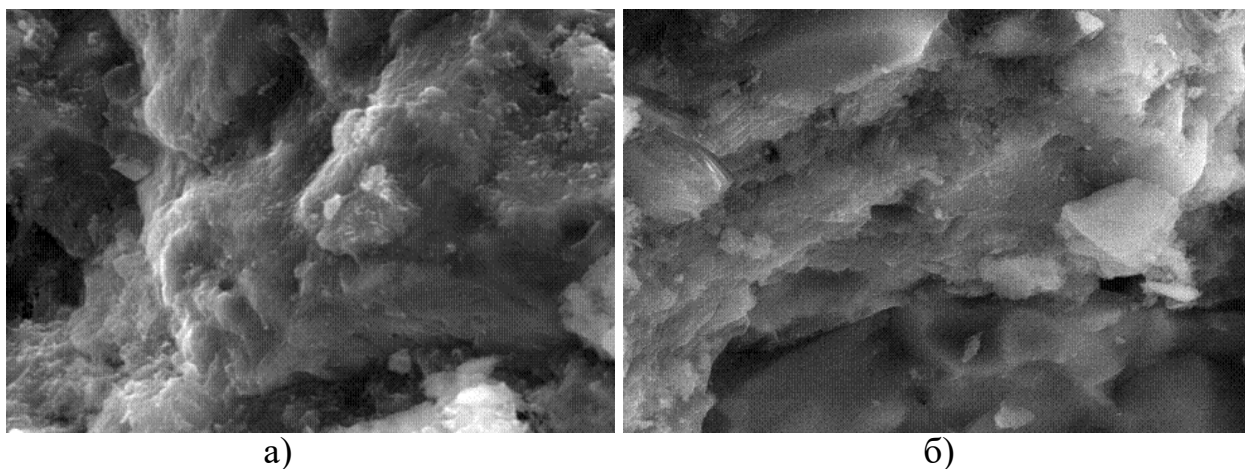


Рис. 4. Електронно-мікроскопічне зображення віброущільненого цементного каменю (збільшення  $\times 3000$ ): а) контрольний склад, б) з вмістом ВКЧ 0,0225 % від маси цементу

Для складів з витратою ВКЧ 0,0225 % від маси цементу характерна дрібнокристалічна структура з більш щільними новоутвореннями і рівномірно розподіленими порами меншого радіусу (рис. 4, б). Це свідчить про більшу ступінь закрісталізованості структури цементного каменю з ВКЧ.

Рентгенограма віброущільненого цементного каменю контрольного складу показала наявність основних мінералів цементного клінкеру – трьохкальцієвого силікату  $C_3S$  і двухкальцієвого силікату  $\beta - C_2S$ , а також присутність гідратних новоутворень портландиту  $Ca(OH)_2$  і гідросульфоалюміната кальцію моносульфатної форми. На рентгенограмі цементного каменю з ВКЧ в кількості 0,0225 % від маси цементу спостерігається присутність тих же мінералів, що і в контрольному складі. Різниця полягає у зміні вмісту певного мінералу в цементному камені. Вміст клінкерних мінералів  $C_3S$  і  $\beta - C_2S$  в цементному камені з ВКЧ нижче, ніж у контрольному складі, що свідчить про більший ступінь гідратації. Вміст портландиту більше, ніж у контрольному складі.

В результаті проведення електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що у пресованого цементного каменю з ВКЧ (рис. 5, б) спостерігаються щільні утворення великої кількості дрібних призматичних кристалів етрінгіту, які відсутні на знімку віброущільненого цементного каменю з ВКЧ (рис. 4, б). При більшому збільшенні видно, що у цементному камені з ВКЧ присутня велика кількість кристалів етрінгіту (рис. 6).

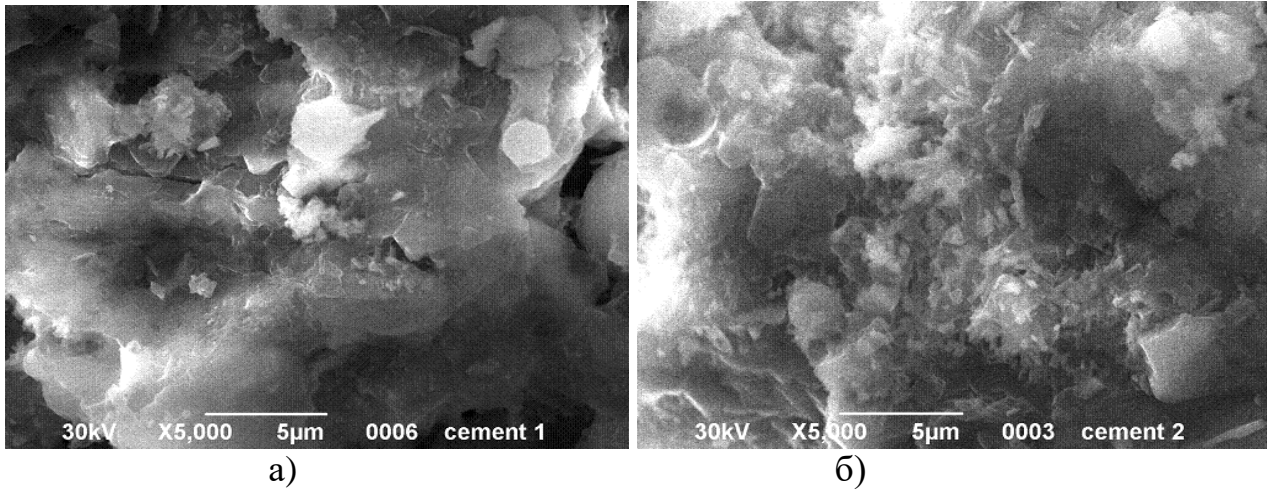


Рис. 5. Електронно-мікроскопічне зображення пресованого цементного каменю (збільшення  $\times 5000$ ): а) контрольний склад; б) з вмістом ВКЧ 0,0225 % від маси цементу

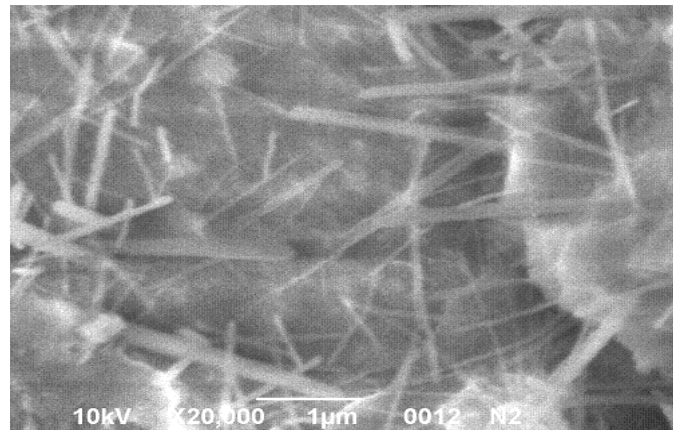


Рис. 6. Електронно-мікроскопічне зображення пресованого цементного каменю з витратою ВКЧ 0,0225 % від маси цементу (збільшення  $\times 20000$ )

Ці кристали утворюють просторовий каркас, зміцнений колоїдними частинками, який надалі заростає новоутвореннями, а вуглецеві колоїдні частинки виступають в ролі містків або зв'язок, тобто є центрами кристалізації.

Для виявлення ефективності застосування ВКЧ в технології віброущільнених цементно-піщаних розчинів виготовляли склади з різним відношенням в'язучого і заповнювача з оптимальним вмістом ВКЧ 0,0225 % від маси цементу, які тверділи в природних умовах. Показано, що при переході від цементного каменю до наповнених цементних систем – дрібнозернистих бетонів, ефективність застосування ВКЧ знижується.

Дослідження показали, що вплив ВКЧ на міцність цементовмісних систем неоднаковий (табл. 2). Наприклад, для віброущільненого цементного каменю приріст міцності при введенні ВКЧ складає 160 – 190 %. Для розчинів з різним співвідношенням цементу і піску максимальний приріст міцності склав 140 – 150 %. Відзначено, що, чим вищий вміст піску у складі розчинів, тим менше прирости міцності. Для дрібнозернистих бетонів з максимальною крупністю заповнювача 20 мм прирости міцності не перевищують 25 %.

Таблиця 2

## Вплив ВКЧ на міцність рівнів структури віброущільненого бетону

№ п/п	Рівень структури	Наявність ВКЧ	R після ТВО, % від контролю	R 28 діб, % від контролю
1	Мікро (цем. камінь)	-	100	100
2		+	190	160
3	Мезо (цементно-піщаний розчин)	-	100	100
4		+	140	150
5	Макро (бетон)	-	100	100
6		+	125	125

Ефективність застосування ВКЧ залежить від способів ущільнення бетонних сумішей. При ущільненні методом пресування ефективність застосування ВКЧ зростає для більш грубих структурних рівнів – цементно-піщаного розчину і дрібнозернистого бетону (табл. 3).

Таблиця 3

## Вплив ТВО та ВКЧ на міцність рівнів структури пресованого бетону

№ п/п	Рівень структури	Наявність ВКЧ	R після ТВО, % від контролю	R <sub>3</sub> доби, % від контролю	R 28 діб, % від контролю
1	Мікро (цем. камінь)	-	100	100	100
2		+	160	140	130
3	Мезо (цементно-піщаний розчин)	-	100	100	100
4		+	155	140	130
5	Макро (бетон)	-	100	100	100
6		+	145	135	130

У цьому випадку фізико-хімічна активація посилюється механічним впливом – створенням щільної упаковки частинок усіх розмірів на всіх структурних рівнях. Це підтверджує висловлене припущення про можливість покращення якості бетону за рахунок правильного вибору комплексу впливів на його рівні структури. Встановлено, що для підвищення якості важких цементних бетонів в кожному конкретному випадку ефективно використання комплексу методів впливу на структурні рівні бетону. При цьому необхідно, щоб ці методи впливу посилювали індивідуальність кожного, що дозволить значно підвищити довговічність бетонів.

Проводили дослідження з визначення впливу суперпластифікуючої добавки Fm 21 спільно з ВКЧ в технології пресованих бетонів (табл. 4). Наведені дані показують, що введення ВКЧ дозволяє підвищити міцність при стисканні після ТВО (при  $t_{iz} = + 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) піщаних бетонів складу Ц : П = 1 : 1,5 на 48 % (склади 1 і 2). Введення суперпластифікатора Fm 21 в кількості 0,5 % від маси цементу призводить до меншого приросту міцності – на 16 % у порівнянні зі складом без будь-яких добавок (склади 1 і 3). Застосування добавки Fm 21 в кількостях

більше 0,5 % приводить до зменшення ефективності дії добавки і зниження міцності бетонів (склади 3 і 4). У той же час спільне введення ВКЧ і Fm 21 приводить до підвищення міцності бетонів на 72 % (склади 1 і 5). Це більше сумарного приросту міцності бетонів з окремо взятими добавками.

Таблиця 4

Вплив ВКЧ і Fm 21 на міцність піщаних пресованих бетонів після ТВО

№ складу	Склади бетону	R <sub>ст</sub> , МПа
1	Контроль	37,3
2	ВКЧ	55,4
3	Fm 21 – 0,5 % від m <sub>ц</sub>	43,1
4	Fm 21 – 0,7 % від m <sub>ц</sub>	39,2
5	ВКЧ + Fm 21 – 0,5 % від m <sub>ц</sub>	64,1
6	ВКЧ + Fm 21 – 0,7 % від m <sub>ц</sub>	50,4

Проводили дослідження по застосуванню ВКЧ в технології віброущільнених дрібнозернистих бетонів природного твердіння. На 28 добу спостерігається максимум в області вмісту ВКЧ 0,0225 % від маси цементу, міцність зростає в 1,27 рази у порівнянні з контрольним складом.

Електронно-мікроскопічні дослідження цементного бетону показали (рис. 7), що при збільшенні x1000 в контрольному складі чітко позначена межа розділу фаз в зоні контакту «цементний камінь – заповнювач», що свідчить про поганий контакт між ними. Є велика кількість пор різного розміру (рис. 7, а). Для складів з ВКЧ при збільшенні x1000 очевидна більш щільна дрібнопориста структура розчинної частини (рис. 7, б). Межа зони контакту між заповнювачем і цементним каменем розмита. Це все свідчить про більшу ступень закрісталізованості структури бетону з ВКЧ, що зумовлює велику міцність бетону при їх наявності. При більш детальному дослідженні порового простору бетону видно (збільшення x2000), що пора бетону, який не містить ВКЧ (рис. 7, в), являє собою глибокий простір, всередині і навколо якого помітні переважаючі кристали етрінгіта і незначна кількість новоутворень гідросилікатів. Пора бетону з ВКЧ практично повністю заростає дрібнокристалічними новоутвореннями (рис. 7, г), які представлені, в основному, щільними дрібнокристалічними зростками гідросилікатів і незначною кількістю голчастих кристалів етрінгіту (збільшення x2000). Такі ж зростки відзначені навколо пори. Це підтверджує теоретичні уявлення.

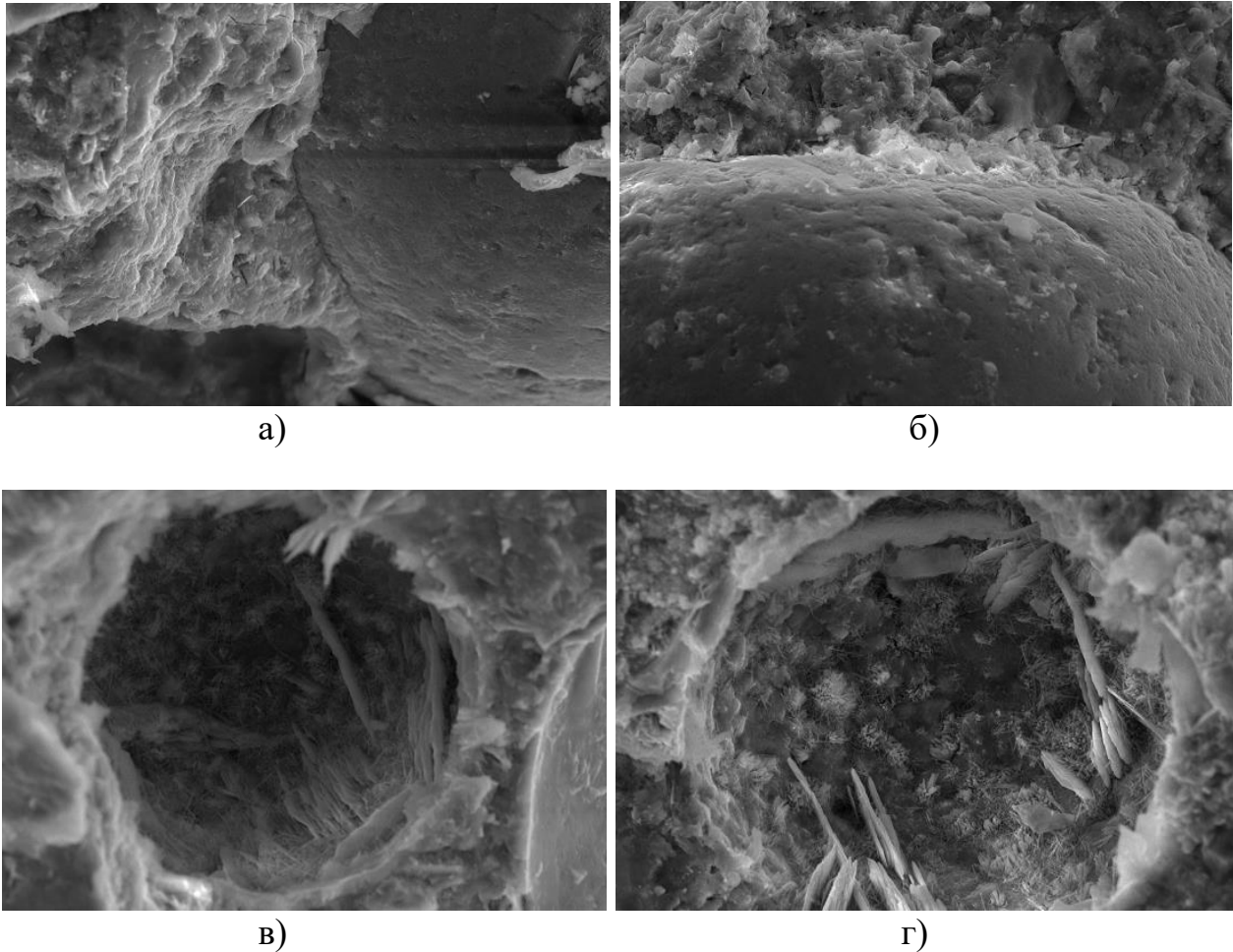


Рис. 7. Електронно-мікроскопічні дослідження віброущільненого дрібнозернистого бетону: а) в) контрольний склад; б) г) з витратою ВКЧ 0,0225 % від маси цементу

Вивчення експлуатаційних властивостей бетонів з ВКЧ дозволило встановити, що комплекс впливів (ВКЧ + ТВО + пресування) підвищує не тільки міцність, але також знижує водопоглинання (до 36 %) і стиранність (до 33 %), підвищує морозостійкість (на 1 – 2 марки). Відзначено, що поліпшення властивостей бетонів з ВКЧ пов'язано також із збільшенням рухомості бетонної суміші і зміною вібров'язкості, що дозволяє краще ущільнити цементний композит.

У главі 5 запропонована технологія виготовлення бетонної суміші із ВКЧ для вібропресованих виробів. Запропонована технологія використовується на заводі по виготовленню бетонних сумішей і виробів ТОВ «Геомакс», який знаходиться у с.м.т. Комсомольський Зміївського району Харківської області. Показано, що введення ВКЧ до складу бетонної суміші для тротуарних бортових каменів призводить до збільшення терміну їх служби в 1,5 рази. Розрахунок економічної ефективності застосування ВКЧ в технології вібропресованих бетонів показав, що для тротуарних бортових каменів, які виробляють на ЦБЗ ТОВ «Геомакс», річний економічний ефект склав 348 тис. 100 грн. Тому застосування ВКЧ в технології вібропресованих бетонів є доцільним.



Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету в лекційних курсах, при виконанні курсового та дипломного проектування.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що прискорення фізико-хімічних процесів в цементному тісті на ранній стадії структуроутворення можна забезпечити активацією цементно-водної системи. Серед механічних, фізичних і фізико-хімічних способів активації найбільш ефективним є подрібнення матеріалів до тонкодисперсного стану і подальше їхнє застосування як активаторів структури. Застосування в цій якості коксового пилу, як побічного продукту вугледобувної промисловості, не приводило до позитивних результатів. Встановлено, що найбільш ефективним способом отримання водних золів вуглецевих частинок, що представляють собою високодисперсні колоїдні системи, є ультразвуковий метод.

2. Визначено геометричні характеристики і мікроструктуру вугілля, коксу і частинок коксового пилу. Показано, що мікроструктура кам'яного вугілля формується з частинок глобулярної і фібрилярної форми. Мікроструктура коксу при його виготовленні не змінюється, в точності відповідає мікроструктурі кам'яного вугілля, представлена флокулами і фібрами таких же розмірів.

3. Розвинуто теоретичні уявлення про вплив коксового пилу на реологічні властивості і процеси структуроутворення цементного каменю в складі цементних композитів. Показано, що наявність в золі іонів  $\text{Ca}^{2+}$  і води, в тому числі сорбованої з повітря, а також співвідношення між  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{SiO}_2$ , свідчать про утворення лужного середовища та гелеподібних низькоосновних гідросилікатів кальцію на поверхні частинок коксового пилу. Розвинуто теоретичні уявлення про молекулярну структуру і електроповерхневі властивості вугільних частинок і їх впливу на процеси структуроутворення цементних композитів.

4. Показано, що при твердінні цементного каменю частинки коксового пилу будуть адагулювати до поверхні зерен заповнювача, переходити з поверхні частинок цементу, який розчиняється на поверхню продуктів гідратації цементу, як кристалогідратів, так і гідросилікатів кальцію. За рахунок утворення міцного електрон-іонною зв'язку між усіма структурними елементами буде збільшуватися міцність мікроструктури цементного каменю. У зв'язку з цим на поверхні структурних елементів вказані ефекти будуть проявлятися при дуже незначній кількості пилу і лише при її оптимальній кількості.

5. Розроблено методику визначення рухомості і в'язкості цементного тіста під дією вібрації, на яку отримано патент України. Показано, що введення ВКЧ в цементне тісто призводить до збільшення його рухомості і зниженню в'язкості на 25 % у порівнянні з контрольними складами. Встановлено, що для цементного тіста з ВКЧ час початку схоплювання подовжується на 45 хв., а час кінця тужавлення – на 1 год 15 хв.

6. Проведені оптичні та електронно-мікроскопічні дослідження структури цементного каменю і бетону з вуглецевими колоїдними частинками показують, що для бетону з ВКЧ характерна більш дрібнокристалічна структура з щільними новоутвореннями. Експериментально показано, що в структурі бетону з ВКЧ спостерігаються просторові каркаси, навколо і усередині яких відбувається кристалізація новоутворень, що інтенсифікує процеси структуроутворення.

7. Встановлено, що ефективність впливу ВКЧ на процеси структуроутворення знижується при переході від субмікрорівня до мікрорівня і далі мезо- та макрорівня. Показано, що міцність цементного каменю з ВКЧ зростає в 1,5 – 1,9, разів, міцність розчинів збільшується в 1,3 – 1,4 рази, а міцність бетонів зростає в 1,25 – 1,35 рази у порівнянні з контрольними складами. Встановлено, що ущільнення жорстких сумішей пресуванням або вібропресуванням приводить до значних приростів міцності при використанні ВКЧ (у 2 рази), ніж віброущільнення рухомих сумішей. Показано, що спільне застосування ВКЧ і суперпластифікуючої добавки Fm 21 в технології пресованих бетонів приводить до неадитивного ефекту – міцність бетонів зростає на 72 %.

8. Доведено, що застосування ВКЧ покращує експлуатаційні властивості бетону: морозостійкість збільшується на 1 – 2 марки, водопоглинання знижується на 30 – 36 %, стираність знижується на 32,6 %.

9. Розроблено склади дрібнозернистих бетонів з вуглецевими колоїдними частинками і отримано патент України. Запропоновано технологію виготовлення бетонної суміші із ВКЧ для вібропресованих виробів, зокрема, бетонних тротуарних бортових каменів, яка застосовується на ЦБЗ ТОВ «Геомакс». Випущена дослідна партія вібропресованих тротуарних бортових каменів.

10. Розрахунок економічної ефективності застосування ВКЧ в технології вібропресованих бетонів показав, що для тротуарних бортових каменів, які виробляють на ЦБЗ ТОВ «Геомакс», річний економічний ефект склав 348 тис. 100 грн. Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету в лекційних курсах, при виконанні курсового та дипломного проектування.

### **Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в таких роботах:**

1. Толмачев С.Н. Исследование влияния углеродных наноструктур на свойства цементных систем / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко, В.М. Шмалько, О.И. Зеленский // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: «Місто майстрів», 2009. – Вип. 35. – С. 348 – 353.

*Особистий внесок:* проведені експериментальні дослідження залежності міцності цементного каменю від водоцементного відношення і температури ТВО.

2. Толмачев С.Н. Особенности структурообразования цементных систем с углеродными наночастицами / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева, Е.А.

Беличенко, С.О. Гридчин // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. – С. 22 – 27.

*Особистий внесок:* виконано аналіз результатів електронно-мікроскопічних і рентгенофазових досліджень цементного каменю з ВКЧ.

3. Толмачев С.Н. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко, А.Г. Холодный // Строительные материалы. – 2010. – № 9. – С. 96 – 100.

*Особистий внесок:* проведено експериментальні дослідження в'язкості гідрозолів з ВКЧ та їх впливу на рухомість цементного тіста.

4. Беличенко Е.А. Физико-химические исследования водных систем с углеродными коллоидными частицами / Е.А. Беличенко, С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: Наук.-техн. збірник. – Київ: Товариство «Знання» України, 2011. – Вип. 39. – С. 10 – 16.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження водяних систем з ВКЧ та виконано аналіз їх результатів.

5. Толмачев С.Н. Прочность прессованных мелкозернистых цементных бетонов с углеродными коллоидными частицами / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко // Вісник наук. праць «Вісник ДонНАБА». – Макіївка: ДонНАБА, 2011. –

Вип. 2011-1(87) «Сучасні будівельні матеріали». – С. 128 – 134.

*Особистий внесок:* заплановано експеримент і проведено аналіз результатів.

6. Толмачев С.Н. Влияние углеродных коллоидных частиц на прессованные мелкозернистые цементные бетоны / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 250 – 255.

*Особистий внесок:* проведено дослідження структури пресованого цементного каменю і бетону з ВКЧ.

7. Толмачев С.Н. Исследование механизма структурообразования прессованных цементно-песчаных бетонов с углеродными наночастицами / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко, Т.М. Мисько // Строительные материалы. – 2011. – № 9. – С. 61 – 63.

*Особистий внесок:* виконано критичний аналіз даних про застосування наночастинок у технології бетонів, проведено експериментальні дослідження пресованих цементно-піщаних бетонів.

8. Беличенко Е.А. Влияние углеродных наночастиц на свойства прессованных цементно-песчаных бетонов / Е.А. Беличенко, С.Н. Толмачев, Т.М. Мисько, А.Г. Дука // Бетон и железобетон в Украине. – 2011. – №6 (64). – С. 2 – 8.

*Особистий внесок:* проведено дослідження експлуатаційних властивостей пресованих бетонів.

9. Беличенко Е.А. Влияние углеродных коллоидных частиц наноуровня на структуру мелкозернистых цементных бетонов / Е.А. Беличенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ. 2012. – Вип. 69. – С. 187 – 192.

*Особистий внесок:* виконано і проаналізовано уточнюючі експерименти.

10. Толмачев С.Н. Повышение долговечности тяжелых бетонов путем комплексной активации структурных уровней / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко // Строительные материалы. – 2012. – № 9. – С. 76 – 78.

*Особистий внесок:* виконано аналіз комплексних методів впливу на структурні рівні бетону.

11. S.N. Tolmachev. Properties of fine cement concretes with carbonaceous nanoparticles / S.N. Tolmachev & O.A. Belichenko // Taylor and Francis Group, 2011. – P. 313 – 324.

*Особистий внесок:* визначено склади дрібнозернистого бетону з ВКЧ, виконано уточнюючі експериментальні дослідження та проведено їх аналіз.

12. Tolmachov S. The role of carbonaceous nanoparticles in the structure formation of fine road concretes / S. Tolmachov, O. Belichenko // 18 Internationale Baustofftagung, 12 – 15 September 2012, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar, 2012. – Band 2. – P. 2.0719 – 2.0726.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження, проведено порівняльний аналіз структури віброущільнених та пресованих бетонів.

13. Беліченко О.А. Пресовані дрібнозернисті бетони з вуглецевими колоїдними частинками / О.А. Беліченко // Геодезія, архітектура та будівництво: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених GAC-2010. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – С. 96 – 97.

*Особистий внесок:* проведено уточнюючі експериментальні дослідження.

14. Толмачев С.Н. Микроскопические исследования механизма влияния углеродных коллоидных частиц на структуру цементных бетонов / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф., Белгород, 5 – 8 октября 2010 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. – Ч. 1. –

С. 340 – 345.

*Особистий внесок:* виконано і проаналізовано електронно-мікроскопічні дослідження гідрозолів з ВКЧ і структури бетону з ВКЧ.

15. Беличенко Е.А. Особенности воздействия углеродных коллоидных частиц на уровни структуры мелкозернистых цементных бетонов / Е.А. Беличенко // Матеріали X Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Макіївка, 21 – 22 квітня 2011 р. / Зб. наук. праць «Вісник ДонНАБА». – Макіївка: ДонНАБА, 2011. – Вип. 2011-3(89). – С. 75 – 78.

*Особистий внесок:* виконано порівняльний аналіз про вплив ВКЧ на різні рівні структури бетону.

16. Беличенко Е.А. Свойства мелкозернистых цементных бетонов, активированных углеродными коллоидными частицами наноразмера / Е.А. Беличенко // Сб. материалов Междунар. науч.-практич. конф. «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования,

строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов». – Харьков: ХНАДУ. – 2012. – С. 41 – 46.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз їх даних.

17. Пат. 56807 України, МПК С 04 В 28/00, С 04 В 111/20. Композиція для отримання дрібнозернистих і піщаних бетонів, що містять вуглецеві наночастинки / Толмачов С.М., Беліченко О.А., Шмалько В.М., Зеленський О.І.; заявник та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201008872; заявл. 16.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2, 2011.

*Особистий внесок:* сформульовано формулу корисної моделі.

18. Пат. 65900 України, МПК С 04 В 28/00, С 04 В 111/20. Спосіб визначення в'язкості цементного тіста / Толмачов С.М., Беліченко О.А.; заявники та патентовласники Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Толмачов С.М., Беліченко О.А. – № a201106601; заявл. 26.05.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. №24, 2011.

*Особистий внесок:* сформульовано формулу корисної моделі.

## АНОТАЦІЯ

Беліченко О.А. Дрібнозернисті дорожні бетони, активовані вуглецевими колоїдними частинками. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробы. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2013.

Дисертація присвячена актуальній темі – дослідженню механізму впливу вуглецевих колоїдних частинок на цементні системи та вивченню закономірностей їх структуроутворення в присутності вуглецевих колоїдних частинок з точки зору основних законів фізичної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем.

Розвинуто теоретичні уявлення про мікроструктуру зерен коксу і частинок коксового пилу. Показано, що наявність в золі кремнезему  $\text{SiO}_2$ , кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  і води, а також співвідношення між ними припускають утворення на поверхні частинок коксового пилу низькоосновних гідросилікатів кальцію. Частинки коксового пилу будуть адсорбуватися на поверхні вихідних зерен цементу, прискорювати їх пептизацію і за рахунок створення сил відштовхування викликати пластифікуючий ефект. Міцні електрон-іонні зв'язки, які виникають між усіма структурними елементами, будуть збільшувати міцність мікроструктури цементного каменю.

Розроблено методику визначення рухомості і в'язкості цементного тіста при дії вібрації. Встановлено, що ефективність впливу ВКЧ на властивості знижується при переході від субмікрорівня до мікрорівня і далі мезо- та макрорівня. Проведено оптико-мікроскопічні, електронно-мікроскопічні та рентгенофазові дослідження цементних композитів з вуглецевими колоїдними частинками. Вивчено фізико-механічні та експлуатаційні властивості бетонів.

Показано, що для бетонів з ВКЧ знижується водопоглинання і стиранність, морозостійкість збільшується на 1 – 2 марки. Розроблено склади дрібнозернистих бетонів з вуглецевими колоїдними частинками. Отримано два патенти України на корисну модель на спосіб визначення в'язкості цементного тіста та на склади дрібнозернистих бетонів. Запропоновано технологію виготовлення бетонної суміші із ВКЧ для вібропресованих виробів.

**Ключові слова:** дрібнозернисті бетони, вуглецеві колоїдні частинки, коксовий пил, цементне тісто, цементний камінь, міцність, структура, віброущільнення, пресування.

## АННОТАЦІЯ

Беличенко Е.А. Мелкозернистые дорожные бетоны, активированные углеродными коллоидными частицами. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена актуальной теме – исследованию механизма влияния углеродных коллоидных частиц на цементные системы и изучению закономерностей их структурообразования в присутствии углеродных коллоидных частиц с точки зрения основных законов физической химии и физико-химической механики дисперсных систем.

Развиты теоретические представления о микроструктуре зерен кокса и частиц коксовой пыли. Показано, что наличие в золе кремнезема  $\text{SiO}_2$ , кальция  $\text{Ca}^{2+}$  и воды, а также соотношения между ними предполагают образование на поверхности частиц коксовой пыли низкоосновных гидросиликатов кальция. Частицы коксовой пыли будут адсорбироваться на поверхности исходных зерен цемента, ускорять их пептизацию и за счет создания сил отталкивания вызывать пластифицирующий эффект. Возникающие прочные электрон-ионные связи между всеми структурными элементами будут увеличивать прочность микроструктуры цементного камня.

Разработана методика определения подвижности и вязкости цементного теста при действии вибрации. Установлено, что эффективность влияния УКЧ на свойства снижается при переходе от субмикроуровня к микроуровню и далее мезо- и макроуровню. Проведены оптико-микроскопические, электронно-микроскопические и рентгенофазовые исследования цементных композитов с углеродными коллоидными частицами. Изучены физико-механические и эксплуатационные свойства бетонов. Показано, что для бетонов с УКЧ снижается водопоглощение и истираемость, а морозостойкость увеличивается на 1 – 2 марки. Разработаны составы мелкозернистых бетонов с углеродными коллоидными частицами. Получены два патента Украины на полезную модель на способ определения вязкости и на составы мелкозернистого бетона. Предложена технология изготовления бетонной смеси с УКЧ для вибропресованных изделий.

**Ключевые слова:** мелкозернистые бетоны, углеродные коллоидные частицы, коксовая пыль, цементное тесто, цементный камень, прочность, структура, виброуплотнение, прессование.

### ABSTRACT

Belichenko O.A. Grained concrete road, the activated carbonaceous colloidal particles. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.05 – Building materials and products. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2013.

The thesis focuses on an important subject – the study of the mechanism of influence of colloidal carbon particles on cement systems and the study of natural-stey of structure formation in the presence of carbon colloidal particles from the point of view of the fundamental laws of physical chemistry and physical and chemical mechanics of disperse systems.

Development of the theory of the microstructure of the grains of coke and coke dust particles. Shown that the presence of silica in the ash  $\text{SiO}_2$ , calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , and water, as well as relations between them would have created on the surface of the particles of coke dust nizkoosnovnyh hydro calcium. Coke dust particles are adsorbed on the surface of the initial grains cement, peptization and accelerate them through the creation of repulsive forces cause a plasticizing effect. Emerging stronger electron-ion between all elements of the structural elements will increase the strength of the microstructure of cement paste.

The method of determination of the mobility and the viscosity of cement paste under the action of vibration. Found that the efficiency CCP influence on properties of the decrease in the transition from a micro level submikrolevel further meso and macro levels. Held optical microscopy, electron microscopy and X-ray studies of cement composites with an angle carbonaceous colloidal particles. The physical-mechanical and operational properties of concrete. It is shown that for concrete with CCP Watering down absorption and abrasion, frost and increased by 1 – 2 brand. Formulations developed fine-grained concrete with carbonaceous colloidal particles. Obtained two patents of Ukraine for useful model to a method for determining the viscosity of the composition and fine concrete. The technology of production of concrete mix with CCP for vibrocompaction products.

**Keywords:** fine-grained concrete, carbonaceous colloidal particles, coke dust, cement paste, cement stone, strength, structure, vibrocompaction, pressing.

## **АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

### **ДРІБНОЗЕРНИСТІ ДОРОЖНІ БЕТОНИ, АКТИВОВАНІ ВУГЛЕЦЕВИМИ КОЛОЇДНИМИ ЧАСТИНКАМИ**

**БЄЛІЧЕНКО Олена Анатоліївна**

Відповідальний за випуск *Редкозубов О.О.*

Підписано до друку 21.01.2013 р. Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman Cyr. Віддруковано на ризографі  
Ум. друк. арк. 0,9.  
Зам. № \_\_\_\_\_. Тираж 100 прим. Ціна договірна

#### **ВИДАВНИЦТВО**

Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків-МСП, вул. Петровського, 25.  
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення  
та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції, серія № ДК №897 від 17.04 2002 р.



