

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА  
АРХІТЕКТУРИ

**ТОЛМАЧОВ Дмитро Сергійович**



УДК 666.972:620.191.33

**ТРИЩИНОСТІЙКІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ  
ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Харківському національному університеті будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України на кафедрі фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів і виробів.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент  
**Сопов Віктор Петрович**,  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів і виробів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Солодкий Сергій Йосифович**,  
Національний університет "Львівська політехніка",  
завідувач кафедри автомобільних шляхів;

кандидат технічних наук, доцент  
**Калінін Олег Анатолійович**,  
Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

Захист відбудеться «13» листопада 2015 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.04 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Автореферат розіслано «10» жовтня 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



Т.О. Костюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Відомо, що руйнування бетонів транспортного призначення, у тому числі дорожніх і аеродромних, при їх твердінні в природних умовах навколишнього середовища починається з утворення внутрішніх і поверхневих тріщин. Тріщини можуть виникати через різницю коефіцієнтів лінійного термічного розширення, тепловиділення цементу, внутрішніх напружень у структурі цементного каменю або зоні контакту «цементний камінь - заповнювач», які обумовлені особливостями компонентів бетону, що застосовуються. Але найбільшу небезпеку, з точки зору тріщиноутворення, представляють повітряна усадка, викликана випаровуванням вологи з бетону, що твердіє і контракція, обумовлена зменшенням обсягу новоутворень цементного каменю.

Дослідження усадки, проведені у 20 столітті, відносилися до бетонів, які містили морально застарілі на сьогоднішній день хімічні добавки. У складах бетонних сумішей відсутні сучасні суперпластифікатори і фібра. Недостатньо даних про вплив заповнювачів і мінеральних наповнювачів на усадку бетонів. Були відсутні дані про вплив витрати і марки цементу на усадку, особливо її складових - повітряну і контракційну. Бетони транспортного призначення традиційно виготовляли із застосуванням заповнювачів крупністю не менше 40 мм. В даний час в таких бетонах максимальна крупність заповнювача обмежена 10...20 мм. Крім того, з'явилися склади бетону, в яких великий заповнювач відсутній - це піщані бетони (розчини), які застосовують для ремонтних робіт. Тому дослідження впливу комплексу сучасних добавок, співвідношення між заповнювачем в'язучим, витратами цементу, умов твердіння на усадку і тріщиностійкість дрібнозернистих і піщаних бетонів транспортного призначення є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Проведені в дисертації дослідження виконувалися за замовленням Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) ДР № 0113U005523 «Провести дослідження та розробити методичні вказівки з оцінки сумісності цементів і хімічних добавок, які використовуються для дорожніх цементобетонів».

**Мета дослідження** – підвищення тріщиностійкості дрібнозернистих бетонів транспортного призначення шляхом обмеження деформацій усадки на ранніх стадіях твердіння за рахунок регулювання складу шляхом введення фібри, хімічних і мінеральних добавок нового покоління і застосування пролонгованого догляду за бетоном.

### **Задачі дослідження:**

1. Проаналізувати і систематизувати літературні дані про причини тріщиноутворення і руйнування бетонів транспортного призначення.

2. Теоретично обґрунтувати можливість управління формуванням структури і властивостями цементного бетону шляхом обмеження його усадки на ранніх стадіях твердіння.

3. Експериментально визначити закономірності впливу сучасних хімічних і мінеральних добавок та фібри на розвиток усадочних деформацій у бетонах і їх величину.

4. Дослідити особливості впливу складу і умов тверднення бетонів на структуруутворення, усадку і тріщиноутворення на ранніх стадіях твердіння.

5. Визначити технологічні прийоми, що сприяють росту тріщиностійкості дорожніх бетонів.

6. Впровадити розроблені дрібнозернисті бетони підвищеної тріщиностійкості при будівництві та реконструкції об'єктів транспортного призначення.

*Об'єкт дослідження* - дрібнозернисті цементні бетони транспортного призначення.

*Предмет дослідження* - закономірності впливу складу, хімічних і мінеральних добавок, фібри, технології догляду за бетоном на усадку, розвиток тріщин і зміну фізико-механічних характеристик дрібнозернистих цементних бетонів.

**Методи дослідження.** Вивчення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей бетонів здійснювали за допомогою стандартних методів дослідження. Для оцінки якості структури дрібнозернистого бетону використовували методи оптичної мікроскопії. Дослідження новоутворень цементного каменю здійснювали за допомогою дериватографічного аналізу.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально доведено закономірності впливу активності цементу, гранулометрії заповнювачів, прискорювачів і суперпластифікаторів різного типу, а також мінеральних добавок і поліпропіленової фібри на розвиток процесів усадки і тріщиноутворення в дрібнозернистих бетонах.

2. Вперше розрахунковим шляхом визначено градієнт температур, при якому можливе виникнення термічних тріщин і часі, протягом якого існує небезпека виникнення тріщин від існуючого температурного градієнта.

3. Удосконалено уявлення про механізм дисипації енергії росту тріщин і їх локалізації в присутності мікробульбашок додатково залученого повітря. Встановлено характер впливу повітроутягуючих добавок на усадку дрібнозернистих бетонів.

4. Вперше визначено критичні витрати цементу, при яких до деформацій повітряної усадки додаються деформації її контракційної складової, що знижує тріщиностійкість та експлуатаційні властивості бетонів.

5. Отримали подальший розвиток теоретичні уявлення, які підтверджені експериментально, про механізм «заростання» тріщин, які утворилися на ранній стадії твердіння бетону. Запропоновано шляхи зниження напружень в зоні їх концентрації за рахунок введення в утворену тріщину компонентів з високими демпфуючими властивостями (мікронаповнювачі, залучене повітря).

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено склади дрібнозернистого бетону транспортного призначення зі зниженою усадкою і підвище-

ної трещиностойкістю. При безпосередній участі автора розроблено нормативний документ МВ 02071168-732:2014 «Методичні вказівки за оцінкою сумісності цементів і хімічних добавок, які застосовуються для дорожніх цементних бетонів». Розроблено методику комплексного догляду за бетоном, яка перешкоджає виникненню усадочних деформацій бетону і розвитку тріщин, що захищено патентом України на спосіб догляду за бетоном. Результати досліджень впроваджено при реконструкції трамвайних переїздів м. Харкова шляхом випуску та укладання дослідно-промислової партії бетону зі зниженою усадкою об'ємом 600 м<sup>3</sup>.

**Особистий внесок здобувача полягає в наступному:**

- на основі проведеного літературного аналізу розроблено теоретичні уявлення про механізм «заростання» тріщин на ранній стадії твердіння бетону;
- розроблена методика комплексного догляду за бетоном, яка перешкоджає виникненню усадочних деформацій бетону і розвитку тріщин;
- запропоновано склади бетону зі зниженою усадкою;
- автором проведені дослідження з визначення взаємозв'язку усадки і фізико-механічних властивостей дрібнозернистих бетонів;
- проведені оптико-мікроскопічні дослідження структури дрібнозернистих бетонів з різними добавками.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи повідомлені на: Міжнародній науково-практичній конференції «Иновационные материалы и технологии» (XX наукові читання), м. Белгород (11 – 12 жовтня 2011 р.); 73-ій Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн, м. Харків (12 – 13 квітня 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Иновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений» (м. Белгород, 8 – 10 жовтня 2013 р.); 68-й та 69-й науково-технічних конференціях Харківського національного університету будівництва та архітектури, м. Харків (26 – 28 лютого 2013 р., 18 – 20 лютого 2014 р.); 78-й науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків (12 – 16 травня 2014 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 10 друкованих працях, у тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науково періодичному фаховому виданні іншої країни (Росія), 4 публікації у матеріалах вітчизняних і міжнародних конференціях, отримано 1 патент України. Публікації повністю відображають положення та висновки дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 5-ти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 159 найменувань і 2-х додатків. Загальний обсяг дисертації 155 сторінок, в тому числі 125 сторінок основного тексту, 49 рисунків, 25 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі показано умови роботи монолітних бетонів транспортного призначення. Показано, що дослідженнями в галузі тріщиностійкості бетонів займалися Ю.М. Баженов, В.М. Вировий, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.С. Дорофеев, А.І. Звездов, Р. Лерміт, Р.Я. Лівша, Л.О. Малініна, Є.М. Малінський, С.О. Миронов, О.М. Невакшонов, В.М. Пунагін, Б.С. Радовський, Р.Л. Серих, С.Й. Солодкий, В.В. Тімашев, З.Н. Цилосані, В.П. Чернишов, Л.О. Шейніч, Р. Acker, Н. Colina, А.А. Griffith, Т. Sato, Р. Schaffel та їх учні. У розділі наведено класифікацію факторів, що приводять до руйнування бетонів і показано, що одним із основних є тріщиноутворення, що викликано різними видами усадки. Відзначено, що існує суперечність у поглядах вчених про вплив мікрodefектів в структурі бетону на тріщиностійкість і процес розвитку тріщин. Наведено існуючі уявлення різних дослідників про процеси виникнення і розвитку тріщин в бетонах.

Показано, що на тріщиноутворення та подальше руйнування бетонів транспортного призначення впливає тепловиділення цементу, наявність пор і пустот у структурі, співвідношення між заповнювачами і їх максимальна крупність, якість зони контакту «цементний камінь-заповнювач», наявність хімічних і мінеральних добавок, армування, заходи щодо догляду за бетоном, що твердіє. Однак, незважаючи на схожість в думках, що для підвищення тріщиностійкості необхідне застосування мінеральних добавок і композиційних цементів, а також зменшення крупності заповнювачів, погляди дослідників про характер впливу різних добавок, у тому числі, що сприяють формуванню порової структури бетону, вимагають уточнення. Особливо це стосується повітроутягуючих добавок, що застосовуються у бетонах транспортного призначення.

Показано, що підвищення тріщиностійкості монолітних бетонів можливо за рахунок зниження В/Ц, застосування поліфракційних заповнювачів. Зниження усадки можна забезпечити за рахунок зменшення кількості та розміру капілярних пор. За деякими даними це можна досягти введенням комплексу суперпластифікатор + мінеральний наповнювач (СП + МН). Проте в дослідженнях приведено різний кількісний вміст цих добавок у бетонах, що вимагає оптимізації їх кількості для зниження усадки. Є відомості про несуттєвий вплив СП на усадку, особливо при вологості середовища твердіння більше 58 %.

Для боротьби з можливим тріщиноутворенням або з тріщинами, які вже утворені, в якості сучасних засобів запропоновано вводити до складу бетонних сумішей мікрокапсули, які сприяють самозаліковуванню бетону, бентонітові глини, що володіють властивістю набухати і закривати тріщину, а також роз-

ширюючі добавки на основі сульфатів і алюмінатів. Однак, використання таких добавок у бетонах транспортного призначення, які піддаються дії зволоження-висихання і заморожування-відтавання приведе до їх руйнування.

Іншими причинами тріщиноутворення можуть бути добові перепади температур і нерівномірне висихання бетону, що вимагає значних витрат на забезпечення робіт із захисту. Наведено дані, які показують, що усадочні і термічні деформації в бетонах можуть приводити до тріщиноутворення не тільки в перші 3 доби (період основного догляду за монолітним бетоном, що твердіє), але й пізніше.

Показано, що серед різновиду МН, які нині застосовують у бетонах найбільше застосування знайшли мікрокремнезем і мета каолін, що можна пояснити їх здатністю зв'язувати гідроксид кальцію в нерозчинні новоутворення, що не вимиваються з бетону, ущільнюють і зміцнюють його структуру. Є суперечливі дані про граничну величину витрати цементу для забезпечення високої тріщиностійкості, які також вимагають уточнення.

У розділі наведено дані, які показують, що при введенні в бетонну суміш фібри тріщиноутворення зменшується. До позитивних результатів щодо зниження усадки приводить введення в бетонні суміші досить дорогих органічних добавок типу ефірів поліпропіленгліколю, поліаліфатичних та інших видів ефірів, що знижують поверхневий натяг порової рідини.

Пористість значно впливає на усадку і тріщиностійкість бетонів, тому в розділі наведено класифікації пор в бетонах, в тому числі міжнародної організації ІУРАК, за розмірами, ступенем зв'язку в них води і за впливом на властивості бетону. Показано, що усадка визначає будову порової структури цементного каменю і дрібнозернистого бетону. Наведено розрахункові формули визначення різних видів пористості, за допомогою яких можна посередньо оцінити усадку та її різновиди, в тому числі контракцію. Остання залежить від тонини помелу цементу, В/Ц, виду та кількості добавок.

Сформульована гіпотеза, мета і задачі дослідження. По розділу зроблені висновки.

**У другому розділі** дисертації розглянуто теоретичні передумови створення дорожніх бетонів підвищеної тріщиностійкості у початковий період твердіння. Показано, що пластична усадка багато в чому визначається змінами вологості середовища твердіння, а також кількістю і станом води замішування. Зменшення кількості фізично зв'язаної вологи в макропорах і капілярах можна забезпечити застосуванням суперпластифікатора, однак, дані про вплив сучасних СП на усадку недостатні і вимагають уточнення. Показано, що величина усадки залежить від співвідношення між цементним тістом, яке є основною причиною розвитку усадочних деформацій, і заповнювачем, який перешкоджає розвитку усадки. При цьому збільшення кількості заповнювача, особливо дрібного, веде до збільшення вільної води, тобто зростанню усадки. Тому для зниження усадки необхідно визначити оптимальне співвідношення між в'язучим і заповнювачем. Можливість скорочення усадки введенням пористих заповнювачів або

розширюючихся добавок (типу етрінгіта) в комплексі з прискорювачами (типу сульфатів або хлоридів) неприпустима для бетонів транспортного призначення через зниження основного показника - морозостійкості. Виникаючі при усадці розтягуючі напруження можна компенсувати застосуванням фібри, однак вимагає уточнення ступінь впливу фібри на усадку в монолітних транспортних бетонах з добавками.

Показано, що в літературі відсутні конкретні дані про те, в якому випадку основний внесок в усадку вносить її повітряна складова, а в якому - контракція. Оскільки застосування повітроутягуючих добавок приводить до істотного зниження міцності бетону, вимагає уточнення також характер впливу таких добавок та їх комплексів з суперпластифікаторами на усадку і тріщиностійкість бетонів.

Наведено розрахункові формули оцінки величини усадочних деформацій різних дослідників. Їх різноманітність показує, що єдиний погляд на фактори, які вносять основний внесок в усадку бетону і розчину, відсутній. Можна відзначити, що всі автори основним вважають склад бетону чи розчину.

Показано, що підвищення міцності бетонів можна забезпечити застосуванням фібри і мікронаповнювачів, але підвищення міцності приведе до зниження тріщиностійкості, що вимагає додаткових досліджень по впливу на усадку і тріщиностійкість мікронаповнювачів і фібри.

Показано, що в початковий період твердіння усадка може сприяти підвищенню міцності цементного каменю і розчину на стиск, незважаючи на можливе тріщиноутворення. У цьому випадку створення вологісних умов твердіння сприятиме заростанню тріщин. Для бетону у віці більш 28 діб його зволоження приведе до зворотного результату - зниження міцності. У роботах деяких авторів показана можливість самозагоювання тріщин при їх заповненні гідросилікатним гелем, у разі резервного клінкерної фонду. Дані про можливість заростання тріщин при використанні сучасних хімічних і мінеральних добавок недостатні, хоча теоретично це можливо.

Показано, що вплив високих температур, крім випаровування вологи може привести до зниження показників бетону, в тому числі тріщиностійкості. Для оцінки небезпеки виникнення температурних тріщин в результаті циклічного нагрівання-охолодження бетону в період твердіння було проведено розрахунок критичного температурного градієнта, що приводить до можливого тріщиноутворення. Теоретичні основи розрахунку розроблені А.В. Ликовим. Величину градієнта визначали за формулою:

$$\text{grad } T_{np} = \frac{64,4 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{\sigma_{сж}^2}}{E \cdot \alpha_t \cdot l}, \quad (1)$$

де  $\beta$  - безрозмірний емпіричний коефіцієнт,  $\beta = 0,07$  для бетонів класів вище В25;  $E$  - модуль пружності бетону,  $E = 3 \dots 4 \cdot 10^4$  МПа;  $\alpha_t$  - коефіцієнт лінійного



температурного розширення бетону,  $\alpha_t = 1 \dots 5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;  $l$  - лінійний розмір елемента, уздовж якого поширюється тепло,  $l = 0,22 \dots 0,26 \text{ м}$ ;  $\sigma_{cm}$  - міцність бетону при стисканні,  $\sigma_{cm} = 40 \text{ МПа}$ .

При товщині плити 26 см, тріщина може виникнути при градієнті температур 26,3  $^\circ\text{C}$ .

Час, протягом якого бетон знаходиться під дією критичного градієнта температур визначали за формулою А.Д. Дмитровича:

$$\tau = \frac{\rho_m}{qM_n} (c + K \cdot B/\Omega) \cdot (t_1 - t_2), \quad (2)$$

де  $\tau$  - час, необхідний для встановлення рівності температур на поверхні і всередині бетону;  $\rho_m$  - щільність бетону,  $\text{кг/м}^3$ ;  $q$  - інтенсивність теплообміну між поверхнею бетону і джерелом тепла,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $M_n$  - модуль поверхні виробу,  $1/\text{м}$ ;  $c$  - питома теплоємність бетону,  $\text{Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $K$  - безрозмірний коефіцієнт, що враховує гідратну воду 0,9...0,95, тобто частку води зачинення;  $t_1$  - температура на поверхні бетону,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_2$  - температура в нижній частині плити бетону,  $^\circ\text{C}$ .

Розрахунок показав, що час, протягом якого при одноразовому циклічному нагріванні може виникнути термічна тріщина дорівнює 8,3 години. Тому протягом цього часу необхідно періодично знижувати температуру поверхні, наприклад, періодичним поливом водою.

Розвинено теоретичні уявлення В.М. Вирового про розвиток усадочних тріщин і запропоновано механізм дії повітряних мікропор, додатково утягнутого повітря (рис. 1, а), що дисипірують енергію розвитку тріщин.

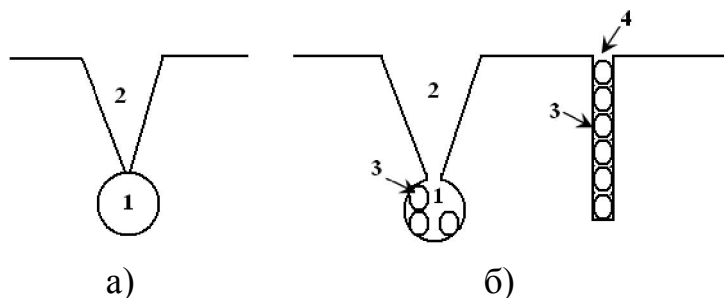


Рис. 1. Механізми релаксуючої ролі бульбашки додатково залученого повітря (а) та заповнення тріщин новоутвореннями і мікронаповнювачем (б)

1 - бульбашка залученого повітря (пора); 2 - тріщина; 3 – новоутворення і мікронаповнювач; 4 - капіляр

Удосконалено уявлення про роль і механізми дії мікронаповнювачів, що сприяють на початковому етапі твердіння ущільненню мікро- і мезоструктури бетону за рахунок заповнення пор і мікро тріщин, які утворилися частинками наповнювача (рис. 1, б), а також продуктами реакції наповнювача з гідроксидом кальцію. По розділу зроблено висновки.

**У третьому розділі** наводяться характеристики матеріалів і методів досліджень, які використовувались у роботі. В експериментальних дослідженнях застосовували: портландцемент ПЦ I – 500 Н; піски кварцові Безлюдівського кар'єру (Харківської обл.) з модулем крупності  $M_{кр} = 1,3$  і Вознесенського кар'єру (Миколаївської обл.) з модулем крупності  $M_{кр} = 2,2$ ; щебінь гранітний фракцій  $5 \div 10$  мм і  $10 \div 20$  мм Кіровоградського кар'єру. В якості добавок суперпластифікаторів застосовували добавки на основі сульфонатів нафталінових і лігносульфонатів Conwisol SM-12 і Conwisol SM-21 (фірма Альпі, Україна), системи «Релаксол» – Релаксол Супер (фірма «Будіндустрія ЛТД», Україна), а також лігносульфонат технічний (ЛСТ) і С-3. Повітроутягуючу добавку Conwisol PV-2 (фірма Альпі, Україна). В якості мікронаповнювачів використовували метакаолін і добавку M13, що містить тонкомелену кераміку і кварц, а також поліпропіленову фібру довжиною 12 мм (ТОВ ПМТС «Спецнаб», Україна). Для догляду за свіжоукладеним бетоном використовували плівкоутворюючий матеріал «Тент» – водну емульсію на основі парафінів.

Технологічні властивості бетонної суміші, фізико-механічні та експлуатаційні властивості бетону (міцність, водопоглинання, морозостійкість, стиранистість) визначали за стандартними методами відповідно з діючими нормативними документами. Усадочні деформації дрібнозернистого бетону визначали за стандартною методикою за допомогою лабораторного приладу, призначеного для вимірювання усадки.

Для оцінки фазового складу і структури цементного каменю, що твердів у різних умовах застосовували фізико-хімічні методи аналізу: диференціально-термічний аналіз за допомогою дериватографа Q-1500D, оптико-мікроскопічні дослідження за допомогою бінокулярного оптичного мікроскопа МБІ-6.

Для обробки експериментальних даних застосовували методи математичної обробки отриманих результатів.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей дрібнозернистих бетонів. Приведені дані оцінки розвитку усадки в часі у піщаних бетонах різноманітного складу, які містять пластифікатори різної ефективності. Показано, що введення пластифікатора з уповільнюючою дією ЛСТ у розчини складу Ц : П = 1 : 2, приводить до зменшення величини усадки в перші кілька діб твердіння, у порівнянні з розчинами, що містять суперпластифікатори типу С-3 і Релаксол. Однак, кінцеве значення величини усадки до 10 доби на 10...18 % більше. Усадка складу без добавок вище на 10, 21 і 30 %, ніж у розчинів з ЛСТ, С-3 і Релаксол. Введення до складу розчину прискорювачів типу  $\text{NaNO}_3$  і  $\text{NaCl}$  приводить до збільшення усадки у віці 3 діб на 17 і 60 % відповідно.

Дослідження усадки піщаних бетонів того ж складу у віці трьох діб з пісками різної крупності показали, що зменшення модуля крупності піску з 2,2 до 1,3 приводить до збільшення усадки на 14 % в бетонах на низькомарочному цементі (М300) і на 5 % в бетонах на цементі М400 (рис. 2 - 4). Аналіз кінетики розвитку усадки в піщаних бетонах з витратою цементу  $400 \text{ кг/м}^3$  показав

(рис. 2), що до трьох діб і в подальшому, до 14 діб найбільша величина усадки спостерігалася в бетонах на цементі М300 і піску з Мкр = 1,3.

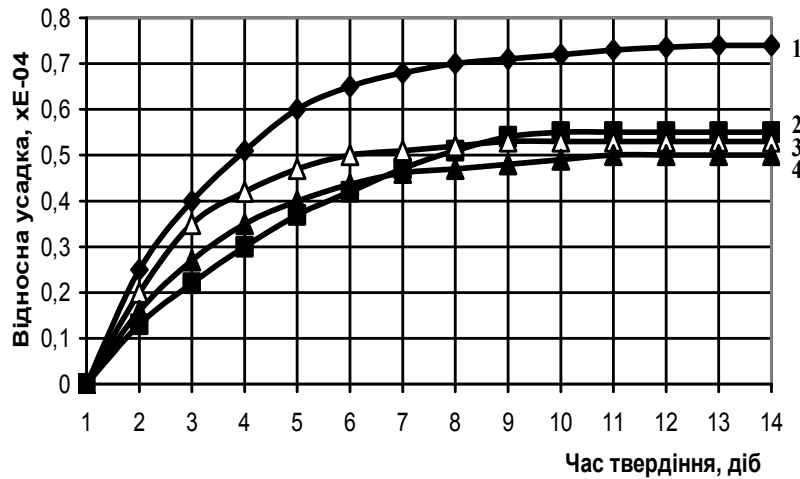


Рис. 2. Усадочні деформації розчинів з Ц = 400 кг/м<sup>3</sup> (Ц : П = 1 : 4):

- 1) –◆– цемент М300, пісок Мкр 1,3; 2) –■– цемент М400, пісок Мкр 1,3;  
3) –△– цемент М400, пісок Мкр 2,2; 4) –▲– цемент М300, пісок Мкр 2,2

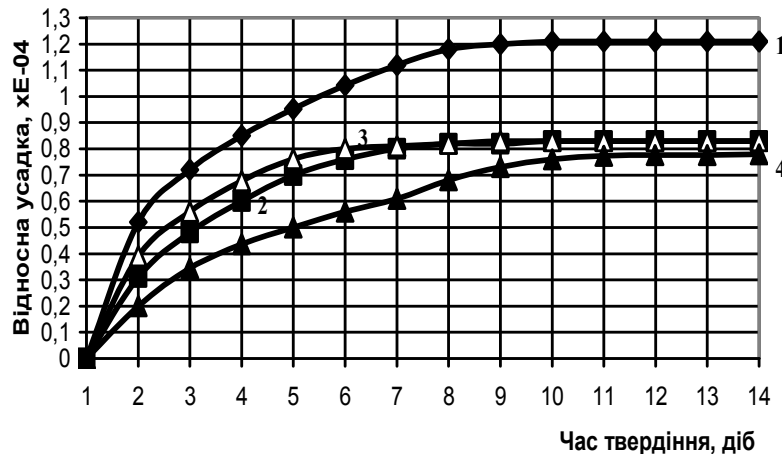


Рис. 3. Усадочні деформації розчинів з Ц = 500 кг/м<sup>3</sup> (Ц : П = 1 : 3):

- 1) –◆– цемент М300, пісок Мкр 1,3; 2) –■– цемент М400, пісок Мкр 1,3;  
3) –△– цемент М400, пісок Мкр 2,2; 4) –▲– цемент М300, пісок Мкр 2,2

До трьох діб усадка бетонів з на цементі М400 і піску з Мкр = 2,2 була нижче тільки на 14 %, а в бетонах на цементі М300 і піску з Мкр = 2,2 - на 50 % і в бетонах на цементі М400 з піском Мкр = 1,3 на 80 %. До 14 діб усадка бетонів цих складів приблизно однакова і менше, ніж у бетонів на цементі М300 і дуже дрібному піску на 14...23 %. У бетонах з витратою цементу 500...550 кг/м<sup>3</sup> усадка в часі розвивається аналогічно (рис. 3, 4), але її величина для всіх складів зростає в 1,57...2,18 рази до 3 діб і в 1,5...1,65 рази до 14 діб. Таке значне збільшення усадки свідчить про те, що до повітряної усадки додаються деформації

від контракції. Це підтвердили результати досліджень бетонів з витратою цементу  $650 \text{ кг/м}^3$ . Загальна величина усадки у всіх бетонів до 3...7 діб ще більше зростає (на 30...60 %).

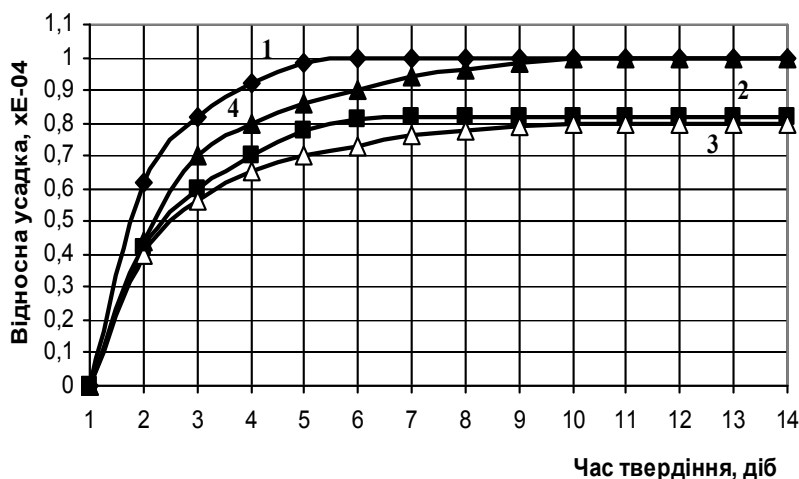


Рис. 4. Усадочні деформації розчинів з  $\text{Ц} = 650 \text{ кг/м}^3$  ( $\text{Ц} : \text{П} = 1 : 2$ ):

- 1) —◆— цемент М300, пісок Мкр 1,3; 2) —■— цемент М400, пісок Мкр 1,3;  
3) —△— цемент М400, пісок Мкр 2,2; 4) —▲— цемент М300, пісок Мкр 2,2

Визначено область витрат цементу, при яких величина усадки мінімальними -  $330...420 \text{ кг/м}^3$ .

Наведено дані впливу повітроутягуючої добавки PV2 і її комплексу з мікронаповнювачем M13 на усадку піщаних бетонів з витратою цементу  $380...400 \text{ кг/м}^3$ , які показали, що при введенні PV2 в кількості 0,1...0,2 % від маси цементу повітряна усадка знижується в 2,6...2,2 рази у порівнянні зі складом без добавки. Дослідження міцності і морозостійкості таких бетонів показали, що при майже рівній міцності бетонів з PV2 і без неї, морозостійкість складів з добавкою зростає в 1,6 разів.

Проведено оптимізацію кількості мінеральної добавки M13 ( $S_{\text{пит}} = 700...820 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) відносно фізико-механічних властивостей піщаних бетонів з витратою цементу  $500 \text{ кг/м}^3$ . Показано, що при витраті добавки 5...7 % від маси цементу усадка бетонів знижується в 1,6...1,5 рази, міцність на розтяг при згині зростає на 25...22 %, а при стисканні - на 15...8 %, водопоглинання знижується в 1,6...1,9 рази, стиранність - в 1,5...1,6 рази. Подальші дослідження показали, що при введенні поліпропіленової фібри у кількості 0,225 % від маси цементу усадка у віці трьох діб менше в 1,9 рази, а на 14 добу - в 1,7 рази, ніж у складі без фібри. Застосування комплексу поліпропіленова фібра (0,225 %) і M13 (5 %) дозволяє знизити усадку у віці трьох діб в 2,3 рази, а у віці 14 діб - в 2,6 рази, у порівнянні з контрольним складом. Введення до складу такого бетону суперпластифікатора Sm21, з прискорювальним ефектом дії, приводить до деякого збільшення усадки (на 25 і 35 % у віці 3 і 14 діб) у порівнянні з бетоном

без суперпластифікатора, але вона нижча, ніж у складі без добавок в 1,75...1,9 рази. Застосування суперпластифікатора Sm 12, з уповільнюючим ефектом дії, приводить до ще більшого зниження усадочних деформацій як на третю добу (на 38 %), так і на 14 добу (на 27 %) у порівнянні з бетоном без такого суперпластифікатора, але з фіброю і M13.

Дослідження розвитку усадки у часі проводили на дрібнозернистих бетонах складу 1 : 1,5 : 3,1. Використовували кварцовий пісок з  $M_{кр} = 1,3$ , гранітний щебінь фракції 5-10 мм і портландцемент ПЦ II / А-III М 400 з витратою 360 кг/м<sup>3</sup>. Вони показали, що при введенні окремо поліпропіленової фібри (0,225 %) або M13 (5 %), а також їх комплексу з суперпластифікатором Sm 12 усадка знижується у порівнянні з бетонами без добавок в 2...3 рази у віці трьох діб і в 1,3...1,95 рази у віці 14 діб. Найбільший ефект відзначений у складі бетону, що містить всі зазначені добавки.

Проведені оптико-мікроскопічні дослідження цементного каменю показали, що структура його поверхні, захищеної від випаровування вологи відрізняється наявністю великих пор різного діаметру, які відсутні на поповерхні захищеного зразка. Мікроскопія захищеної поверхні зразка піщаного бетону з витратою цементу 650 кг/м<sup>3</sup> підтвердила наявність макропор діаметром 0,2...0,5 мм (рис. 5). Процес випаровування поширюється до середини зразка, на глибину 20 мм, де відзначені пори такого ж розміру. Вони відсутні в нижній частині зразка, на глибині 40 мм, з якої волога не випаровувалася. При введенні до складу бетону суперпластифікатора Sm 12 глибина активних вологовтрат стає менш 20 мм, розмір пор в середній частині зразка (20 мм) зменшується до 0,1...0,05 мм (рис. 5 в, г). Введення мікронаповнювача приводить до того, що кількість пор різко зменшується, а різниця в їх розмірах на поверхні зразка і в його середині зникає (рис. 5 д, е).

Дослідження показали, що при нанесенні на поверхню дрібнозернистого бетону, що твердіє плівкоутворюючого складу «Тент» (водна емульсія на основі парафінів), що захищає поверхню від випаровування вологи, величина усадки знижується в 2,0...2,9 рази у порівнянні зі складом без захисту, що твердів в таких же умовах. Міцність на розтяг бетонів, не захищених від випаровування вологи, нижче, ніж в захищеному бетоні на 42...38 %.

Проведені дериватографічні дослідження цементного каменю дозволили встановити, що при твердінні каменю без захисту поверхні в умовах температур + 30 ... + 35 °С у зразку відбуваються швидкі втрати вологи. Це приводить до того, що кількість гідросілікатного гелю зменшилася в 1,8 рази, портландіта - в 1,25 рази, а вміст карбонатів кальцію і магнію збільшилось в 11,8 разів порівняно зі складом, що твердів в нормальних умовах.

Дослідження властивостей дрібнозернистих бетонів, що містять комплекс сучасних добавок (суперпластифікатор, поліпропіленову фібру, мікронаповнювач і повітроутягуючу добавку) показали (табл. 1), що найбільш ефективним є комплекс СП + МН + фібра. Додавання до нього повітроутягуючої добавки принципово не змінює показники, тому у кожному конкретному випадку пови-

нно обґрунтовуватися додатково. Відмінною особливістю дрібнозернистих бетонів є те, що при введенні в їх склад щебеню показники якості змінюються в меншій мірі, ніж для піщаних бетонів.

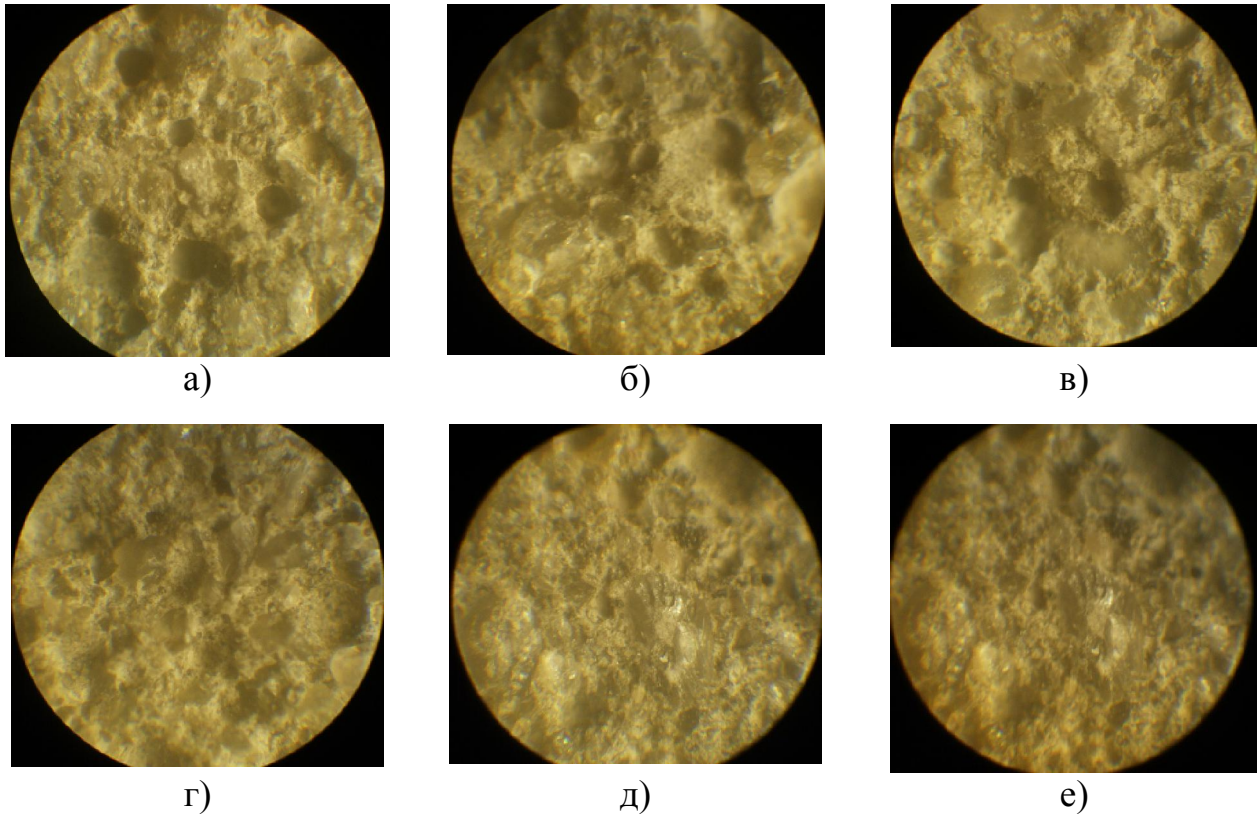


Рис. 5. Структура піщаного бетону (збільшення  $\times 60$ ):

а) контрольний склад верхня частина; б) контрольний склад з глибини 20 мм від поверхні; в) з добавкою Sm 12 верхня частина; г) з добавкою Sm 12 з глибини 20 мм від поверхні; д) з добавкою Sm 12 і M13 5 % від  $m_{ц}$  верхня частина; е) з добавкою Sm 12 і M13 5 % від  $m_{ц}$  з глибини 20 мм від поверхні

Таблиця 1

### Властивості дрібнозернистих бетонів

Вид добавок	Усадка $\times 10^{-4}$			$R_{ст}$ , МПа, 28 діб	Водопо- глинан- ня, %	Стиран- ність, г/см <sup>2</sup>	Моро- зостій- кість, марка
	3 діб	7 діб	28 діб				
Sm21	0,26	0,38	0,45	42,2	4,1	26,8	F200
Sm21 + M13 + фибра	0,16	0,23	0,25	50,7	2,7	16,1	F400
Sm21 + M13 + фибра + PV2	0,14	0,21	0,22	48,3	2,9	17,5	F400

\* умови твердіння: температура  $t = + 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , відносна вологість  $\phi = 60 \dots 68 \%$

Таблиця 2

**Властивості дрібнозернистих бетонів з пролонгованим доглядом**

№ з/п	Умови твердіння	Усадка хЕ-04			Міцність $R_{ст}$ у віці 28 діб, МПа	Водопоглинання, %
		3 діб	7 діб	10 діб		
1	+ 30 °С, $\phi = 45 \%$ без догляду	0,36	0,56	0,65	34,2	6,8
2	+ 30 °С, $\phi = 45 \%$ без догляду + полив	0,36	0,44	0,45	42,9	4,0
3	+ 30 °С, $\phi = 45 \%$ з «Тент»	0,21	0,31	0,33	44,7	3,3
4	+ 30 °С, $\phi = 45 \%$ з «Тент» + полив	0,21	0,25	0,20	51,3	2,6

Наведено результати досліджень, які показують, що застосування пролонгованого догляду за бетоном протягом 10 діб твердіння шляхом його періодичного поливу водою (табл. 2), дозволяє відновити його міцність і якість структури у випадку, якщо протягом перших 3 діб бетон твердів в повітряно-сухих умовах без захисту від випаровування вологи.

По розділу зроблено висновки.

**У п'ятому розділі** наведено дослідно-промислове впровадження результатів на-наукових досліджень при реконструкції міжрейкових трамвайних шляхів у м. Харкові. Запропоновано і запатентовано методику комплексного пролонгованого догляду за бетоном протягом перших 7...10 діб твердіння. Дана методика перешкоджає виникненню усадочних деформацій бетону і, як наслідок, розвитку тріщин. Це приводить до збільшення терміну служби бетонного покриття в 1,5 рази. Розрахункова економічна ефективність впровадження склала 122 тис. 880 грн.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри фізико-хімічної механіки і технології будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури в лекційних курсах, а також при виконанні курсового і дипломного проектування.

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість отримання дорожнього дрібнозернистого бетону зі зниженою усадкою і підвищеною тріщиностійкістю шляхом реалізації комплексу технологічних прийомів: введення сучасних хімічних і мінеральних добавок, поліпропіленової фібри і застосування пролонгованого догляду за бетоном в перші 7...10 діб твердіння. Проведено розрахунки градієнта температур, що приводить до утворен-

ня термічної тріщини - 26,3 °C і часу, протягом якого існує небезпека її виникнення - 8,3 години.

2. Розвинуто теоретичні уявлення про механізм дисипації енергії усадочних тріщин, що розвиваються в дрібнозернистих бетонах у присутності повітроутягуючих добавок і обґрунтовано механізм заростання тріщин, які утворилися на початковому етапі твердіння бетонів і розчинів, за рахунок їх заповнення частинками мікронаповнювача і продуктами його реакції з новоутвореннями цементу.

3. Встановлено, що застосування суперпластифікаторів з сповільнюючою дією на ранньому етапі твердіння зменшує усадку на 20 %, суперпластифікаторів з прискорюючою дією не змінює, а неорганічних прискорювачів - збільшує на 20...60 %. При цьому загальна величина усадки бетонів з суперпластифікаторами знижується на 30 %.

4. Показано, що зниження активності цементу приводить до підвищення усадки на 30 %, а зменшення крупності піску - до 10 %. Визначено граничну витрату цементу, що дорівнює 400 кг/м<sup>3</sup>, при якій усадка мінімальна і визначається величиною її повітряної складової. При підвищенні витрати цементу до неї додається контракційна складова, і усадка зростає на 50...62 %.

5. Доведено, що введення до складу розчинних і бетонних сумішей повітроутягуючих добавок, мікронаповнювачів або поліпропіленової фібри приводить до зменшення усадки в 1,35...1,7 рази. Застосування комплексів фібра + мікронаповнювач в піщаних бетонах знижує усадку до 2,5 разів, а суперпластифікатор + фібра + мікронаповнювач - до 3,2 рази. Введення цього комплексу в дрібнозернисті бетони приводить до зменшення усадки на 95 %. Розвиток усадочних деформацій в цих випадках припиняється на 5...7 добу твердіння, а в контрольному складі - після 10 діб.

6. Оптико-мікроскопічними дослідженнями показано, що структура цементного каменю і розчину без добавок при усадці на глибину до 20...30 мм нещільна з великими порами розміром до 0,5 мм. Введення комплексів, що містять суперпластифікатор і мікронаповнювач, а також цього комплексу з поліпропіленової фіброю, дозволяє за рахунок зниження усадки ущільнити структуру, зменшити розмір пор більш, ніж на порядок і підвищити експлуатаційні характеристики розчинів і бетонів в 1,5...2 рази.

7. Застосування плівкоутворюючих матеріалів для догляду за бетоном, що твердіє дозволяє зменшити усадку розчинів і бетонів до 2,8 рази, що підвищує міцність бетону при згині на 50 %. Показано, що при відсутності догляду за бетоном в перші 3 доби усадка зростає в 1,7 разів, що веде до зниження фізико-механічних характеристик. Застосування пролонгованого догляду за таким бетоном дозволяє відновити його властивості на 80...95 %.

8. Дериватографічними дослідженнями доведено, що догляд за бетоном забезпечує захист цементного каменю і сприяє формуванню щільної та міцної мікроструктури з підвищеною кількістю гідросилікатних новоутворень і кристалічного портландіту. Експериментально доведено, що тривалий інтенсивний



догляд за бетоном, що твердіє протягом 7...10 діб дозволяє відновити його структуру за рахунок заростання тріщин і забезпечити підвищення фізико-механічних характеристик.

9. Розроблено склади тріщиностійких дрібнозернистих бетонів і технологія пролонгованого догляду за бетоном, що твердіє, на яку отримано патент України. Проведено дослідно-промислове впровадження результатів досліджень і отримано розрахунковий економічний ефект у сумі 122 тис. 880 грн.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Факторы, влияющие на трещиностойкость бетонов транспортного назначения [Текст] / С.Н. Толмачев, А.Н. Чугуенко, В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Науковий вісник будівництва, Вип. 63, Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2011. – С. 197 – 204.

*Особистий внесок:* проведено огляд літературних джерел про фактори, що впливають на тріщиностійкість дорожніх бетонів.

2. Влияние минеральных и воздухововлекающих добавок на усадку и свойства дорожных бетонов [Текст] / В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Одеса «Зовнішрекламсервіс», 2014. – Вип. 53. – С. 363 – 368.

*Особистий внесок:* виконано та проаналізовано експериментальні дослідження по впливу різних добавок на усадку бетонів.

3. Термический анализ цементного камня [Текст] / В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Науковий вісник будівництва: Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ, 2014. – № 1 (75)/2014. – С. 85 – 89.

*Особистий внесок:* виконано та проаналізовано експериментальні дослідження.

4. Влияние углеродных наночастиц на прочность цементных композитов [Текст] / Е.А. Беличенко, С.Н. Толмачев, Д.С. Толмачев // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2010. – Вип. 57. – С. 191 – 195.

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

*Статті у спеціалізованих міжнародних науково-періодичних виданнях, які включені у міжнародні наукометричні бази:*

5. Толмачев Д.С. Влияние усадки на структуру и свойства растворов [Текст] / Д.С. Толмачев // Строительные материалы. – 2013. – № 10. – С. 62 – 65.

*Матеріали апробації результатів дисертаційного дослідження:*

6. Влияние химических добавок на структуру и усадку цементного камня [Текст] / В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Дни современного бетона – Хортица

2012: сб. докладов конференции, г. Запорожье, 25-27 апреля 2012 г. / Запорожье: Изд-во «Будиндустрия, ЛТД». – 166 с., С. 133 – 136.

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

7. К вопросу о совместимости компонентов цементного бетона с химическими добавками [Текст] / С.Н. Толмачев, В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): сб. докладов Междунар. науч.-практич. конф., Белгород, 11 – 12 октября 2011 г./ Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. – Ч. 4 – 329 с., С. 254 – 260.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження з оцінки впливу різних добавок на властивості цементів.

8. Структурно-механические характеристики дорожных цементных бетонов, твердевших в различных условиях [Текст] / С.Н. Толмачев, В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практич. конф., Белгород, 8 – 10 октября 2013 г./ Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. – Т. 1 – 419 с., С. 383 – 387.

*Особистий внесок:* виконано оптико-мікроскопічні дослідження структури бетонів з різним вмістом цементу та проведено аналіз їх даних.

9. Толмачев Д.С. Влияние усадки на структурно-механические свойства бетона [Текст] / Д.С. Толмачев // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы VII Междунар. научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 14 – 16 мая 2013 г. / Волгогр. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – 399 с., С. 160 – 166.

10. Толмачев Д.С. Анализ особенностей структурообразования дорожных цементных бетонов в различных условиях [Текст] / Д.С. Толмачев // Приглашенный билет и программа Международной научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии» (XX научные чтения): программа междунар. науч.-практич. конф. БГТУ им. В.Г. Шухова, 11 – 12 октября 2011 г. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – С. 10.

11. Толмачов Д.С. Підвищення тріщиностійкості дорожніх бетонів [Текст] / Д.С. Толмачов, В.П. Сопов, С.Н. Толмачов // Програма 73 Міжнародної науково-технічної конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн: програма междунар. наук.-техн. конф. УкрДАЗТ, 12 – 13 квітня 2011 р. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – С. 41.

12. Структурно-механические характеристики дорожных цементных бетонов, твердевших в различных условиях [Текст] / С.Н. Толмачев, В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Программа Международной научно-практической конференции «Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений»: программа междунар. научно-

практич. конф. БГТУ им В.Г. Шухова, 8 – 10 октября 2013 г. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – С. 6.

13. Толмачов Д.С. Взаємозв'язок усадки і структурно механічних властивостей розчинів [Текст] / Д.С. Толмачов // Програма 78-ї науково-технічної та науково-методичної конференції університету: програма наук.-техн. та наук.-метод. конф. ХНАДУ, 12 – 16 травня 2014 р. – Харків: ХНАДУ, 2014. – С. 45.

14. Роль усадки бетону в утворенні та розвитку тріщин [Текст] / В.П. Сопов, Д.С. Толмачов // Програма 68-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури: програма наук.-техн. конф. ХНУБА, 26 – 28 лютого 2013 р. – Харків: ХНУБА, 2013. – С. 13.

15. Влияние минеральных и воздухововлекающих добавок на усадку и свойства дорожных бетонов [Текст] / В.П. Сопов, Д.С. Толмачев // Програма 69-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури, 18 – 20 лютого 2014 р. – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 27.

*Додаткові:*

16. Пат. 88745 України, МПК С 04 В 28/00, С 04 В 111/20. Спосіб догляду за бетоном / Толмачов С.М., Беліченко О.А., Толмачов Д.С.; заявники та патентовласники Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Толмачов С.М., Беліченко О.А., Толмачов Д.С. - № и 2013 13380; заявл. 18.11.2013; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6, 2014.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження.

## АНОТАЦІЯ

Толмачов Д.С. Тріщиностійкі дрібнозернисті цементні бетони транспортного призначення. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та вироби. - Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, 2015.

Дисертація присвячена актуальній темі - підвищенню тріщиностійкості дрібнозернистих цементних бетонів шляхом обмеження деформацій усадки на ранніх стадіях твердіння. Це можливо за рахунок управління формуванням структури і властивостями бетону.

У роботі розвинуто теоретичні уявлення про механізм дисипації енергії усадочних тріщин, які розвиваються у дрібнозернистих бетонах у присутності повітроутягуючих добавок. Обґрунтовано механізм заростання тріщин, які утворилися на початковому етапі твердіння бетонів і розчинів, за рахунок їх заповнення частинками мікронаповнювача і продуктами його реакції з новоутвореннями цементу.

Експериментально виявлені закономірності впливу складу, умов твердіння, сучасних хімічних, мінеральних добавок і фібри на розвиток усадочних деформацій в бетонах. Було вивчено процеси структуроутворення і тріщиноутворення в дрібнозернистих бетонах і розчинах. Розроблена і запатентована технологія пролонгованого догляду за бетоном. Технологія дозволяє відновити структуру бетону за рахунок заростання тріщин і забезпечити підвищення фізико-механічних характеристик бетонів.

Результати досліджень впроваджено при реконструкції трамвайних колій у м. Харкові.

Ключові слова: усадка, тріщиноутворення, дрібнозернисті бетони, розчини, структура, міцність, мікронаповнювач, повітроутягуюча добавка, фібра

## АННОТАЦІЯ

Толмачев Д.С. Трещиностойкие мелкозернистые цементные бетоны транспортного назначения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, 2015.

Диссертация посвящена актуальной теме – повышению трещиностойкости мелкозернистых цементных бетонов путем ограничения деформаций усадки на ранних стадиях твердения за счет управления формированием структуры и свойств бетона.

В работе развиты теоретические представления о механизме диссипации энергии развивающихся усадочных трещин в мелкозернистых бетонах в присутствии воздухововлекающих добавок и обоснован механизм зарастания образовавшихся на начальном этапе твердения бетонов и растворов трещин за счет их заполнения частицами микронаполнителя и продуктами его реакции с новообразованиями цемента. Расчетным путем определен градиент температур, при котором возможно возникновение термических трещин. Рассчитано время, в течение которого существует опасность возникновения трещин от температурного градиента.

Экспериментально выявлены закономерности влияния факторов состава, современных химических и минеральных добавок и фибры на развитие усадочных деформаций в бетонах и их величину. Показано, что уменьшение активности цемента и модуля крупности песка приводит к увеличению деформаций усадки. Установлено, что при введении в состав мелкозернистых бетонных смесей комплекса добавок, состоящего из суперпластификатора, фибры и микронаполнителя деформаций усадки снижаются в несколько раз.

Исследованы особенности влияния состава и условий твердения бетонов на структурообразование, усадку и трещинообразование на ранних стадиях твердения. Показано, что применение пленкообразующих материалов для ухода за твердеющим бетоном позволяет уменьшить усадку растворов и бетонов почти в

три раза, что приводит к повышению физико-механических показателей. Установлено, что отсутствие ухода за бетоном в первые несколько суток твердения приводит к существенному возрастанию деформаций усадки и, соответственно, снижению физико-механических характеристик.

Предложены составы бетона с пониженной усадкой. Разработана и запатентована технология пролонгированного ухода за бетоном, которая позволяет восстановить структуру бетона за счет зарастания трещин и обеспечить повышение физико-механических характеристик.

Результаты исследований внедрены при реконструкции трамвайных путей в г. Харькове

Ключевые слова: усадка, трещинообразование, мелкозернистые бетоны, растворы, структура, прочность, микронаполнитель, фибра, суперпластификатор, пленкообразующий состав

## ABSTRACT

Tolmachov D.S. Crack resistance grail-grained cement concrete for transport purposes. – Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, speciality 05.23.05 – building materials and products. – Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkov, 2015.

Dissertation is devoted to the actual topic - improving crack resistance of grail-grained cement concrete by limiting the shrinkage strain in the early stages of hardening. This is possible by controlling the formation of structure and properties of concrete.

In the development of theoretical ideas about the mechanism of energy dissipation shrinkage cracks developing in grail-grained concrete in the presence of air-entraining admixtures. The mechanism of overgrowing of cracks that formed at the initial stage of hardening concrete and mortar due to their filling particles of microfiller and its reaction products with neoplasms of the cement.

The experimentally determined regularities of influence of composition, hardening conditions, modern chemical, mineral admixtures and fibers on the development of shrinkage strain in concrete. The processes of structure and cracking in concrete and mortar were studied. Developed and patented technology prolonged curing. The technology allows you to restore the concrete structure by overgrowing of cracks and to increase the physical and mechanical properties of concrete.

The research results are introduced in the reconstruction of the tram tracks in Kharkov.

Keywords: shrinkage, cracking, grail-grained concrete, mortar, structure, strength, microfiller, air-entraining admixture, fiber

## **АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

### **ТРИЩИНОСТІЙКІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**ТОЛМАЧОВ Дмитро Сергійович**

Відповідальний за випуск *Беліченко О.А.*

Підписано до друку 07.10.2015р.

Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.

Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 187

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)

М. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1

Тел. 7-170-354

**[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)**