

## АНОТАЦІЯ

*Калюжна Олена Вячеславівна.* Підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних шпал комплексними добавками. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (19 Архітектура та будівництво). Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація виконана на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд і кафедрі залізничної колії і транспортних споруд Українського державного університету залізничного транспорту і складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку із 154 використаних джерел, додатків.

У *вступі* наведено загальну характеристику роботи, зокрема, доведено актуальність обраної теми, показано її зв'язок з науковими програмами та планами, сформульовано мету, об'єкт і предмет, завдання досліджень, викладено положення наукової новизни, обґрунтовано достовірність і практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію. Виробництво залізобетонних шпал є дуже ресурсоенергоємним через високу проектну міцність бетону та, особливо, необхідність швидкого отримання передаточної міцності 32 МПа, тому пошук і обґрунтування застосування комплексних добавок, які забезпечують високу ранню міцність бетону за природного або малопрогрівного режимів твердіння, є актуальним завданням. Актуальність підкреслюється виконанням досліджень у складі держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України. Метою дослідження є обґрунтування виробництва попередньо напружених залізобетонних шпал з режимами твердіння природним або малопрогрівним за рахунок застосування комплексних добавок, що не спричиняють корозійного впливу на сталеву арматуру. Предмет дослідження – бетон залізобетонних шпал з добавками суперпластифікаторів полікарбонатів, прискорювачів електролітів та дисперсії гідросилікатів кальцію, об'єкт дослідження – ранні стадії процесу твердіння та формування

ранньої міцності цього бетону. Результати досліджень апробовані на 4-х міжнародних конференціях у 2019-21 рр. та опубліковані у 7 роботах, у т.ч. 2 статтях у фахових виданнях України, 2 статтях у виданнях, що індексуються НМБД Scopus, 1 статті у закордонному виданні.

**Розділі 1** містить результати аналітичного огляду сучасних уявлень з отримання високої ранньої міцності бетону. Розглянуто особливості конструкції і технології виробництва залізобетонних шпал, способи прискорення твердіння бетону за рахунок застосування оптимальних складів бетону та хімічних добавок, способи визначення складу бетону, добавки суперпластифікатори та комплексні добавки суперпластифікаторів та прискорювачів, обмеження на застосування добавок в бетони, шляхи підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних шпал. За результатами аналітичного огляду висунуто робочу гіпотезу, яка полягала у підвищенні ранньої міцності бетону за рахунок застосування бетону оптимального складу з комплексною добавкою суперпластифікатора полікарбоксилата і прискорювача, що не спричиняє корозійного впливу на арматуру, - дисперсії гідросилікатів кальцію як кристалічної затравки для швидкого утворення кристалогідратів.

Для досягнення мети і доведення гіпотези було висунуто такі завдання досліджень: уточнити електроповерхневі властивості складових цементного каменю та бетону з добавками; вивчити особливості молекулярної структури добавок суперпластифікаторів і уточненити механізм їх впливу на ранню міцність цементного каменю і бетону; виконати термодинамічний аналіз можливості утворення із  $C_3A$  і добавок-електролітів кристалогідратів, що мають позитивний поверхневий заряд і сприяють утворенню додаткової кількості електрогетерогенних контактів у ранні терміни твердіння; виконати стехіометричні розрахунки і визначити безпечну кількість добавок-електролітів, яка буде зв'язана у кристалогідратах, та виконати термодинамічний аналіз стійкості кристалогідратів; вивчити механізм впливу комплексної добавки суперпластифікаторів, електролітів та дисперсії гідросилікатів кальцію на ранню міцність і структуру цементного каменю та бетону, виконати електронно-мікроскопічні дослідження структури; виконати експериментальні дослідження

впливу суперпластифікаторів і комплексних добавок на ранню міцність бетону шпал; виконати фізико-хімічні дослідження фазового складу продуктів гідратації цементу з добавками; виконати потенціодинамічні та мікроскопічні дослідження впливу добавок на корозійний стан сталеві арматури в бетоні; розробити і впровадити рекомендації із застосування комплексних добавок в бетон залізобетонних шпал, визначити економічну ефективність; впровадити результати досліджень у навчальний процес.

У **розділі 2** наведено матеріали і методи досліджень. Для виготовлення дослідних зразків застосовували щебінь гранітний, пісок кварцовий, портландцемент ПЦ І-500Н, добавки: суперпластифікатори полікарбоксилати різних виробників, прискорювачі електроліти нітрат і хлорид кальцію, дисперсію гідросилікатів кальцію, а також вискоміцний низьковуглецевий дріт діаметом 3 мм для армування попередньо напруженого залізобетону.

Фізичні властивості матеріалів для бетону визначали стандартними методами, фракційний склад цементів - за допомогою аналізатора розміру частинок Malvern ZetaSizer. Легкоукладальність бетонних сумішей та фізико-механічні властивості бетону визначали стандартними методами. Можливість утворення продуктів гідратації цементу з добавками досліджували термодинамічним методом, склад продуктів гідратації за допомогою фізико-хімічних методів - рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, скануючої електронної мікроскопії. Граничний корозійно безпечний вміст добавок електролітів визначали шляхом стехіометричних розрахунків. Вплив добавок на корозійний стан сталеві арматури в бетоні досліджували потенціостатичними методами. Достовірність результатів досліджень забезпечена коректним застосуванням і метрологічним забезпеченням стандартних та оригінальних методів випробувань та досліджень, застосуванням незалежних методів досліджень, повторюваністю результатів випробувань, їх статистичною обробкою, узгодженістю результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

**Розділ 3** містить теоретичне обґрунтування підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних шпал комплексною добавкою. Визначено

електроповерхневі потенціали та заряди основних складових цементного каменю та бетону, досліджено механізми впливу добавок суперпластифікаторів, прискорювачів твердіння електролітів та дисперсії гідросилікатів кальцію на ранню міцність бетону

У розділі 4 наведені результати експериментальних досліджень з підвищення ранньої міцності бетону залізобетонних шпал комплексною добавкою. Досліджено вплив добавок суперпластифікаторів полікарбоксилатів, комплексних добавок на ранню міцність бетону шпал, виконано фізико-хімічні дослідження цементного каменю з добавками, електронно-мікроскопічні дослідження його структури, потенціодинамічні та мікроскопічні дослідження корозійного стану сталевної арматури в бетоні з добавками.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано нові наукові результати. Зокрема, розвинуто уявлення про електроповерхневі властивості та взаємодії під час твердіння портландцементу з добавками, зокрема, такі положення: інтегральний рівноважний електроповерхневий потенціал граніту дорівнює мінус 0,89, проте ділянки його поверхні можуть мати як негативний (кварц, ортолказ), так і позитивний (біотит) заряд; пластифікуючий ефект аніонних ПАР обумовлений їх вибірковою адсорбцією на позитивно заряджених ділянках поверхні зерен цементу ( $C_3A$ ) та заповнювачів: лігносульфонати через незначну кількість груп  $SO_3^-$  нейтралізують заряд  $C_3A$  та мають середньоластифікуючий ефект, меламінформальдегіди та нафталінформальдегіди через значну кількість груп  $SO_3^-$  перезаряджають  $C_3A$  і мають сильноластифікуючий ефект, полікарбоксилати через значну кількість функціональних груп  $CO_2^-$  або  $PO_3^{2-}$  та довгих вуглеводневих радикалів забезпечують перезарядження  $C_3A$ , підсилене стеричним ефектом, тому мають найбільший пластифікуючий (водоредукуючий) ефект; в результаті уведення нітрату та хлориду кальцію утворюються термодинамічно стійкі гідронітро- та гідрохлоралюмінати кальцію, кристалогідрати яких мають позитивний поверхневий заряд і утворюють додаткову кількість електрогетерогенних контактів у ранні терміни твердіння; безпечна кількість нітрату та хлориду кальцію визначається їх зв'язуванням

алюмінатними фазами а, отже, вмістом  $C_3A$  у клінкері; найбільший прискорюючий ефект добавки дисперсії гідросилікатів кальцію з полікарбоксилатом досягається за рахунок того, що частинки ГСК збільшують площу поверхонь, на яких відбувається кристалізація продуктів гідратації та забезпечують швидке заповнення ними прошарків між частинками цементу та заповнювачів з утворенням електрогетерогенних контактів. Вперше отримано залежності ранньої міцності бетону шпал від різних сполучень і кількості добавок суперпластифікаторів полікарбоксилатів, прискорювачів електролітів і дисперсії гідросилікатів кальцію за різних режимів твердіння, а також потенціостатичні криві корозійного стану арматури у бетоні з цими добавками.

**Розділ 5** містить інформацію щодо впровадження результатів досліджень у виробництві збірних залізобетонних конструкцій і будівельних композиційних матеріалів. Розроблено рекомендації із застосування добавок суперпластифікаторів полікарбоксилатів та прискорювачів твердіння в бетон залізобетонних шпал. Розроблені засоби з підвищення ранньої міцності бетону застосовані для підвищення водостійкості композитів на основі мінеральних в'язучих комплексними добавками. Виконано оцінку економічної ефективності використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал. Результати досліджень використано у навчальному процесі. Показано практичне значення отриманих результатів, яке полягає у забезпеченні зниження ресурсоенерговитрат під час виробництва залізобетонних шпал та інших збірних залізобетонних конструкцій і виробів без зниження показників їх якості та підтверджується впровадженням на підприємствах, а також у початковий процес.

У **загальних висновках** підсумовано виконання завдань досліджень і констатовано досягнення мети, а у додатках наведені додаткові матеріали.

**Ключові слова:** бетон, добавки, твердіння, рання міцність, залізобетонна шпала