



**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

Випуск 155

Харків 2015

УДК 691.075:541.18

До збірника увійшли обрані праці 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», яка відбулась в університеті 21–23 квітня 2015 р., а також інші статті, присвячені розвитку теоретичних та експериментальних основ складу, структури, властивостей, руйнування, корозії, довговічності, технології будівельних матеріалів та виробів, відновлення експлуатаційних властивостей і захисту будівельних конструкцій, будівель та споруд.

Збірник призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів, науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща). Реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті <http://jml2012.indexcopernicus.com/++++++p944,3.html>

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 8617 видане 06.04.2004р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 5 від 30 червня 2015р.

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА:

Члени Ради:

д.т.н., професор С. В. Панченко – голова Ради
д.т.н., професор С. І. Приходько – заступник голови
к.т.н., професор А. О. Каграманян – заступник голови
к.т.н., доцент С. В. Михалків – заступник голови
д.т.н., професор А. Б. Бойнік
д.т.н., професор Т. В. Бутько
д.т.н., професор В. С. Блиндюк

д.т.н., професор С.В. Лістровий
д.т.н., професор В.І. Мойсеєнко
д.т.н., професор А.А. Пługін
д.т.н., професор Е.Д. Тартаковський
д.т.н., професор Л.А. Тимофеева
д.т.н., професор А.П. Фалендиш
д.т.н., професор Я.В. Щербак

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

д.т.н., професор А.А. Пługін – головний редактор
д-інж., професор Х.-Б. Фішер (Веймарський будівел. універс. Німеччина)
д.т.н., професор В.С. Лесовик (Белгород. ДТУ ім. В.Г. Шухова, Росія)
д.т.н., професор А.Д. Омаров (Гуманітар. універс. тр-та і права ім. Д.А. Кунаєва Республ. Казахстан)
д.т.н., професор Д.А. Пługін
д.т.н., професор М.Ю. Ізбаш
д.т.н., професор Г.М. Шабанова
д.т.н., професор О.М. Даренський
д.т.н., професор Ю.О. Ландау
к.т.н., доцент Г.Л. Ватуля

За загальною редакцією д.т.н., проф. А.А. Пługіна та к.т.н., доцента Г.Л. Ватулі

ISSN 1994-7852

Зареєстровано 2 червня 2007 р.

у ISSN International Centre 20. Rue
Bachaumont, 75002 PAFIS, FRANCE

©Український державний університет
залізничного транспорту, 2015

ЗМІСТ

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

<i>Пушкарьова К.К., Шабанова Г.М.</i> Фізико-хімічні й термодинамічні основи синтезу мінералів та їх гідратації й дегідратації для отримання штучного каменю з напередзаданими властивостями	5
<i>Плугін А.А.</i> Структуроутворення і властивості мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їх основі з позицій колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем	12
<i>Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.</i> Методология многопараметрического проектирования составов строительных композиционных материалов с заранее заданными свойствами	35
<i>Пушкарьова К.К., Дворкін Л.Й., Плугін А.А., Кагановський О.С., Градобоев О.В., Плугін О.А.</i> Технологічні аспекти використання дисперсних речовин, у т.ч. техногенного походження, при отриманні будівельних композиційних матеріалів (БКМ) з покращеними експлуатаційними властивостями	41
<i>Павліков А.М., Зоценко М.Л., Бамбура А.М., Тимошенко С.А.</i> Індустріальна безкапітально-безбалкова конструктивна система і нові конструктивно-технологічні рішення основ і фундаментів на основі сучасних будівельних матеріалів для зведення доступного житла та об'єктів інфраструктури	53
<i>Плугін А.А., Романенко О.В., Бабій А.І., Калінін О.А., Плугін О.А.</i> Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами твердіння для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання	62
<i>Рунова Р.Ф., Троян В.В., Сова Н.О.</i> Склади бетону з хімічними та мінеральними добавками зі зниженими витратами цементу для виробництва залізобетонних шпал	73
<i>Сізова Н.Д., Калінін О.А., Міхєєв І.А., Плугін Ант.А.</i> Огляд сучасного програмного забезпечення для розв'язання задач технології бетону	78
<i>Плугін Д.А.</i> Розвиток уявлень про міцність та електрокорозію сталі в сталевих і залізобетонних конструкціях	88
<i>Забіяка О.А.</i> Підвищення довговічності безбаластного мостового полотна на залізобетонних плитах: вплив надлишкових електричних зарядів і механічних напружень на тріщиноутворення	98
<i>Мірошніченко С.В., Партала Н.М.</i> Динамічні випробування полімеркомпозиційного прокладного шару для плит безбаластного мостового полотна	103
<i>Суханова Ю.А., Партала Н.Н., Плугін А.А., Фишер Х.-Б.</i> Алюминатные цементы для ремонта гидротехнических сооружений	111
<i>Пушкарьова К.К., Марціх А.С., Суханевич М.В.</i> Ефективні гідроізоляційні матеріали на основі наномодифікованих шлакомістких цементів	118
<i>Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Каверин К.О.</i> Вплив органо-мінеральних добавок на реологічні властивості цементних композицій та їхні фізико-механічні характеристики	124

<i>Плугин Ал.А., Нестеренко С.Г., Конев А.А., Никитинский А.В., Колесников М.А.</i> Экспериментальные исследования электроизоляционных и гидроизоляционных свойств полимерцементных растворов на основе карбамидной смолы	129
<i>Касьянов В.В.</i> Розробка складів електропровідних покриттів для захисту конструкцій від електрокорозії	138
<i>Плугин А.Н., Плугин А.А. Борзяк О.С.</i> Зависимость углов отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала кристаллов	143
<i>Трикоз Л.В., Савчук В.Ю.</i> Дослідження залежності ущільнення ґрунтів від виду електроліту	153
<i>Винников Ю.Л., Литвиненко Т.В.</i> Лабораторные исследования влажностного режима уплотненного суглинка дорожной насыпи	158
<i>Пічугін С.Ф., Зима О.Є., Винников П.Ю.</i> Оцінка безвідмовності лінійної частини магістрального трубопроводу	165
Будівельні матеріали, конструкції та споруди	
<i>Беличенко Е. А., Толмачев С. Н.</i> Особенности активационных способов воздействия на структурные уровни цементных бетонов	173
<i>Трикоз Л.В., Багіянц І.В.</i> Дослідження питомої електричної провідності баластного щебеню	179
<i>Стороженко Л.І., Давиденко Ю.О., Горб О.Г., Горб О.О.</i> Клейові з'єднання сталі та бетону	184
<i>Даренський О. М., Беліков Е. А.</i> Аналіз вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7.	190
<i>Кичаева О.В., Перепелица Е.А.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния системы «вентиляционная труба – фундамент – основание»	195
<i>Северин В.О., Карабаш Л.В., Лазарев Д.М.</i> Розрахунок надійності сталевих елементів каркасу будівель та споруд при дії снігового навантаження	206
<i>Пашинський В. А., Довженко О. О., Рудченко В. І.</i> Результати статистичного аналізу методів розрахунку шпонкових з'єднань та рекомендації щодо їх застосування	214
<i>Довженко О.О., Погрібний В.В., Чурса Ю.В.</i> Врахування форми поперечного перерізу шпонок у розрахунках їх міцності	221
<i>Крот А.Ю.</i> Использование системы моделирования потоков для сравнения пропускной способности клапанов, используемых в конструкциях поршневых бетононасосов	229
<i>Балера Н.Д., Емельяненко Н.Г., Горголюк В.В., Хахалев П.А.</i> Усовершенствование футеровки трубной шаровой мельницы	235
<i>Доброходова О.В.</i> Структурные взаимосвязи градостроительной модели жилого здания	240
<i>Блиндюк В.С.</i> Методи й засоби технічної діагностики тягових двигунів локомотивів.	244

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

**ОБРАНИ ПРАЦИ 5-Ї МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ З БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, КОНСТРУКЦІЙ ТА
СПОРУД «ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ», ХАРКІВ, 23–24 КВІТНЯ 2015 РОКУ**

УДК 620.92

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ Й ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ МІНЕРАЛІВ ТА ЇХ ГІДРАТАЦІЇ Й ДЕГІДРАТАЦІЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ШТУЧНОГО КАМЕНЮ З ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Д-р техн. наук К.К. Пушкарьова, д-р техн. наук Г.М. Шабанова

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА МИНЕРАЛОВ И ИХ ГИДРАТАЦИИ И ДЕГИДРАТАЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Д-р техн. наук Е.К. Пушкарева, д-р техн. наук Г.Н. Шабанова

PHYSICO-CHEMICAL AND THERMODYNAMIC FUNDAMENTALS OF SYNTHESIS OF MINERALS AND THEIR HYDRATION AND DEHYDRATION TO PRODUCE ARTIFICIAL STONE WITH GIVEN PROPERTIES

DSc K.K. Pushkarova, DSc G.M. Shabanova

Встановлені нові фізико-хімічні закономірності синтезу, гідратації та дегідратації мінералів та їх склоподібних аналогів для отримання штучного каменю з заданими властивостями, у т.ч. високоміцного, жаростійкого. Сформульовані основні принципи його композиційної побудови, які дозволяють завдяки регулюванню фазового складу продуктів твердіння здійснити направлений синтез штучного каменю з прогнозованими термомеханічними характеристиками. Теоретично обґрунтовано можливість створення нового класу барійвмісних цементів поліфункціонального призначення, що базується на прогнозуванні необхідних комбінацій фаз з урахуванням законів термодинаміки в прикладному застосуванні до фазових рівноваг багатоконпонентних барійвмісних оксидних систем. Встановлено, що основними продуктами їх гідратації є гідроалюмінати, гідросилікати та гідроферити у кристалічному, криптокристалічному або аморфному станах, які в процесі твердіння утворюють високоміцний конгломерат.

Ключові слова: синтез міцності штучного каменю, процеси гідратації та дегідратації; кристалохімічна подібність продуктів твердіння; барійвмісні цементи.

Установлены новые физико-химические закономерности синтеза, гидратации и дегидратации минералов и их стеклоподобных аналогов для получения искусственного камня с прогнозируемыми свойствами, в т.ч. высокопрочного, жаростойкого. Сформулированы принципы его композиционного построения, позволяющие за счет регулирования фазового состава продуктов твердения осуществить направленный синтез искусственного камня с прогнозируемыми термомеханическими характеристиками. Теоретически обоснована возможность создания нового класса барийсодержащих цементов полифункционального назначения, которая основана на прогнозировании необходимых комбинаций фаз с учетом законов термодинамики в прикладном применении их к фазовым равновесиям

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

многокомпонентных барийсодержащих оксидных систем. Установлено, что основными продуктами гидратации является гидроалюминаты, гидросиликаты и гидроферриты в кристаллическом, криптокристаллическом или аморфном состояниях, в процессе твердения которых образуется высокопрочный конгломерат.

***Ключевые слова:** синтез прочности искусственного камня, процессы гидратации и дегидратации; кристаллохимическое подобие продуктов твердения; барийсодержащие цементы.*

Installed new physical and chemical laws of synthesis, hydration and dehydration of minerals and glassy analogous for artificial stone with predetermined properties. It is shown that the optimal conditions for the synthesis strength of artificial stone created at forming a gel phase as a part of hydration products. A new approach to assessing the quality of artificial stone structure that takes into account the degree of crystal- chemical similarity for new products hydration at different stages of structures formation stone in a wide temperature range. Its proposed criterion of similarity crystal products hydration and dehydration that allowed to quantify the changing state of the stone structures at the elevated temperature.

Based on the developed ideas about the physical and chemical processes of hydration and dehydration of mineral binders formulated the basic principles of artificial stone composite construction with given properties, including high-strength, heat-resistant, which allows by adjusting the phase of hardening products implement directed synthesis of artificial stone predictable thermomechanical characteristics.

Theoretically proved the possibility of creating a new class of multifunctional purpose bariumcontent cements based on the prediction of the required combinations of phases, taking into account the laws of thermodynamics as applied to the use of phase equilibria of multicomponent systems. The features of the processes of hydration and hardening cements of bariumcontent new class and found that the main products of hydration are hidroaluminates, hydrosilicates and hydroferrous crystalline, criptocrystalline or amorphous states. Its phases take part in forming of structure high strength conglomerate.

***Key words:** synthesis of strength artificial stone, hydration and dehydration processes; cristal-chemical similarity of hardening products; bariumcontent cements.*

Вступ

Багаторівневий характер організації композиційних матеріалів необхідно враховувати як один з важливих факторів при направленому синтезі матеріалів з заданими експлуатаційними характеристиками [1]. Властивості всіх матеріалів, в тому числі бетонів, визначаються їх складом, структурою та технологією [2].

Аналіз відомої інформації [3] дозволяє зазначити, що одним з важливих показників якості структури є мікроструктура, причому багато фахівців відмічають її домінуючий вплив на властивості штучного каменю порівняно з

іншими ієрархічними рівнями структури композита.

Відомо, що отримання оптимальної мікроструктури цементного каменю досягається як шляхом синтезу гідратних новоутворень заданого складу, так і шляхом керування швидкістю процесу гідратації на окремих її стадіях, що забезпечує отримання необхідного співвідношення гелевидної та кристалічної фаз у складі продуктів твердіння [4]. Слід зазначити, що основні закономірності керування складом гідратних новоутворень повинні базуватись на результатах аналізу ступеня кристалохімічної подібності як вихідних фаз, так і продуктів їх гідратації з урахуванням можливості їх зрощення та перекристалізації

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

з часом без розвитку значних деструктивних напружень [5]. Склад продуктів гідратації визначає не тільки розвиток міцнісних, але й спеціальних властивостей штучного каменю. Це положення є вірним при синтезі штучного композита з заданими характеристиками у будь-якій в'язучій системі гідратаційного твердіння [6].

Постановлення проблеми

З використанням сучасних уявлень будівельного матеріалознавства щодо встановлення взаємозв'язку «структура – процес – властивості» та фізико-хімічних основ регулювання процесами їх структуроутворення (як в умовах високотемпературного синтезу, так і підчас гідратації) досліджені фізико-хімічні закономірності процесів гідратації та дегідратації мінералів в системах: « $R_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ » та « $CaO-BaO-MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3$ » та визначені шляхи отримання ефективних матеріалів загальнобудівельного та спеціального призначення (в т.ч. високоміцних, жаростійких, вогнетривких, корозійностійких).

Для визначення принципової можливості формування високоміцного та жаростійкого каменю як об'єкти дослідження розглянуті фазові склади продуктів гідратації та дегідратації в'язучих композицій в системі « $R_2O-CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ » та виконана оцінка кристалохімічної подібності продуктів гідратації та дегідратації мінеральних композицій як основного критерію, що передбачає отримання оптимальної структури композита з потрібними фізико-механічними та термомеханічними характеристиками.

Для встановлення особливостей синтезу штучного каменю з наперед заданими властивостями досліджені процеси гідратації та дегідратації в системах: $CaO-Al_2O_3$; $CaO-SiO_2$; $CaO-Al_2O_3-SiO_2$; $CaO-MgO-SiO_2$; $CaO-Al_2O_3-MgO-SiO_2$ в присутності сполук лужних металів ($NaOH$, Na_2CO_3 , Na_2SiO_3). В'язучі композиції,

замішані водою, були прийняті як аналоги порівняння.

Методи досліджень

При виконанні експериментальних робіт для вивчення вищенаведених систем були залучені наступні методи дослідження: рентгенофазовий аналіз (РФА), диференціально-термічний аналіз (ДТА), ІЧ-спектроскопічний (ІЧС), електронний парамагнітний резонанс (ЕПР), ядерний гама-резонанс (ЯГР), електронна та растрова мікроскопія. Також застосовано термодинамічний метод, який визначає енергетичну можливість і напрямок протікання реакцій, супроводжуючі їх теплові зміни, що дозволяє розраховувати теплові баланси процесів, а також встановлювати перевагу реакцій і стійкість сполук, що утворюються, шляхи подавлення небажаних реакцій і усунення побічних продуктів, вибір оптимального режиму протікання реакцій (температури, тиску і концентрації реагуючих речовин).

Результати досліджень

Як було доведено попередніми дослідженнями [7], синтез міцності штучного каменю гідратаційного твердіння визначається двома основними факторами: хімічною природою в'язучих речовин та ступенем їх кристалохімічної подібності. За результатами проведених досліджень останній фактор стає особливо важливим при визначенні умов формування жаростійкого каменю в процесі дегідратації в'язучих композицій, оскільки міцність структури каменю при дії температури в значній мірі визначається характером процесів дегідратації, що відбуваються, а також ступенем кристалохімічної подібності новоутворень на різних стадіях виготовлення штучного композиту.

Оцінка ступеня структурної відповідності продуктів гідратації та дегідратації можлива за допомогою кристалохімічного критерію подібності, розрахунок якого здійснено на припущенні, що зрощення кристалів іде за схемою Руайє-Фріделя вздовж плоских сіток, що ідентичні

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

за формою і приблизно рівні за розмірами. Для оцінки ступеня порушення міцності штучного каменю запропоновано коефіцієнт ступеня деструкції каменю при термічній обробці, який визначається як відношення величин критеріїв подібності продуктів гідратації та дегідратації [7].

Як показали результати фізико-механічних та фізико-хімічних досліджень оптимальні умови для синтезу міцності в системі «оксид кальцію-оксид алюмінію-лужний компонент» створюються при гідратації низькоосновних алюмінатів кальцію CA та CA_2 в присутності розчинних силікатів натрію. Ці композиції були використані як моделі для розробки високоміцних та жаростійких матеріалів, що відрізняються прискореним зростанням міцності у часі і незначним зниженням міцності при експлуатації в діапазоні температур $600...1200^{\circ}C$ (а.с. СРСР № 998410). На базі цих композицій розроблені матеріали спеціального призначення, в тому числі:

- зносо- та термостійкі композиції, що отримані на основі глиноземистих та високоглиноземистих лужних цементів з добавками карбиду кремнію (термостійкість $90...100$ циклів водних тепломінів, зносостійкість у $2...2,5$ рази вище за зносостійкість контрольних зразків на основі високоглиноземистого цементу);

- отримані жаростійкі композиційні матеріали класів И12-И13 на основі лужних алюмінатних цементів та хромомагнезійних добавок, що характеризуються міцністю при стиску $50...70$ МПа, залишковою міцністю після випалювання при $T=1000^{\circ}C-60...80\%$; термостійкістю $27...69$ тепломінів.

В системі « $CaO-SiO_2$ -лужний компонент» оптимальні умови для синтезу міцності штучного каменю при його твердінні у широкому діапазоні температур створюються при гідратації мінералу $\beta-C_2S$ у присутності Na_2SiO_3 , причому наявність іонів лужних металів активізує не тільки

процеси гідратації, але й сприяє стабілізації структури випаленого каменю, усуваючи можливі в цій системі модифікаційні перетворення і створюючи тим самим умови для синтезу ефективних жаростійких матеріалів.

Розглянуті модельні системи використані для отримання композиційних матеріалів спеціального призначення (а.с. СРСР 1043123; 1121249; 1277560).

На основі техногенної сировини, що містить мінерали $\beta-C_2S$, та дегідратовані цеолітові породи отримані жаростійкі композиції, що є стійкими до газової корозії (CO , CO_2 , O_2). Випробування проведені за стандартом ASTM C 288-78. Встановлено, що міцність таких матеріалів зростає у $1,4$ рази, зміна пористості не перевищує 16% , в той час як для відомих аналогів має місце зниження міцності у $2,5$ рази та зміна пористості перевищує 25% .

Згідно результатам багаторічних досліджень [5] моделювання процесів отримання алюмосилікатних композицій у системі « $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ -лужний компонент» відкриває широкі перспективи синтезу матеріалів на основі металургійних шлаків, природних та техногенних стекел, причому алюмосилікатні в'язучі системи відрізняються суттєвими перевагами, такими як: підвищення міцності після нагрівання їх до робочої температури; висока реакційна здатність при термічній обробці, що дозволяє за рахунок введення модифікуючих добавок керувати структурою штучного каменю, а також існує можливість регулювання вогнетривкістю та термомеханічними характеристиками матеріалу шляхом зміни кремнеземистого та лужного компонентів. Наведені дані обумовлюють економічну та технічну доцільність використання алюмосилікатних систем, в тому числі у вигляді шлаколужних цементів, для отримання жаростійких композитів.

Регулювання термомеханічних характеристик цементного каменю можливо шляхом введення до його складу алюмосилікатних добавок, наприклад,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

шамоту (а.с. СРСР 730650). При збільшенні кількості цієї добавки ступінь зменшення міцності каменю при дії температурного фактора знижується. Досягнутий ефект обумовлений направленим синтезом у складі продуктів твердіння низькоосновних гідросилікатів кальцію та лужно-лужноземельних гідроалюмосилікатів. На основі модифікованих шлаколуужних в'язучих систем з використанням шлакопемзових та шамотних заповнювачів отримані жаростійкі композити, міцність яких складає 15...40 МПа. Після випалювання при $T=800^{\circ}\text{C}$ міцність таких бетонів у 1,2...1,7 разів перевищує міцність бетону без добавок, а термостійкість збільшується у 1,5...3 рази.

Регулювання термомеханічних властивостей шлаколуужного бетону можливо також шляхом введення як модифікуючих добавок алюмінатів кальцію CA та CA_2 або алюмотермічних шлаків, що їх містять. Згідно результатам проведених досліджень висока швидкість набору міцності (7 діб - 90 МПа, 28 діб - 120 МПа) обумовлена утворенням при гідратації алюмінатів кальцію висококремнеземистих гідрогранатів та лужних гідроалюмосилікатів, подібних до анальциму, які є центрами кристалізації гелевидної фази, що утворюються у великій кількості при замішуванні шлаку розчинами лужних компонентів. Результати фізико-механічних випробувань констатують не тільки високі міцнісні показники отриманого штучного каменю, але й високу залишкову міцність зразків після випалювання, що досягає 115...120 %.

Таким чином, отримання високоміцних та жаростійких композитів в системі « $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ -лужний компонент» та керування їх властивостями досягається шляхом направленою формування в складі продуктів твердіння лужно-лужноземельних гідроалюмосилікатів, які сприяють плавному протіканню процесів дегідратації без

виникнення суттєвих деструктивних напружень в структурі штучного каменю.

Встановлені закономірності формування фазового складу продуктів гідратації та дегідратації в системі «оксид кальцію - оксид магнію - оксид силіцію - лужний компонент» визначили шляхи направленою синтезу цементів спеціального призначення із залученням відходів металургійної та електрохімічної промисловості. Жаростійкі в'язучі системи, модифіковані добавками магнійсилікатних порід, є перспективними цементами для отримання на їх основі жаро-корозійностійких композитів, в тому числі теплоізоляційних сумішей для виготовлення корозійностійких виробів до дії розплавлених металів. Середня густина отриманого матеріалу (при використанні як теплоізоляційного наповнювача каолінового волокна) не перевищує 390 кг/м^3 , а міцність при твердінні становить 3...4 МПа, коефіцієнт теплопровідності – $(7,33...9,52) \cdot 10^{-2} \text{ Вт/ (м}\cdot\text{К)}$. Висока активність в'язучої речовини забезпечує добре зчеплення каолінових волокон та сприяє підвищенню хімічної стійкості отриманого теплоізоляційного матеріалу при взаємодії з розплавом алюмінію. Залишкова міцність зразків після взаємодії з розплавом, температура якого становила $700...1000^{\circ}\text{C}$, досягає 93...95%. Високі експлуатаційні властивості отриманих теплоізоляційних сумішей дозволили використати їх для футерування металопровода МГД-насосів (а.с.СРСР 1017693).

Встановлені закономірності впливу хіміко-мінералогічного складу вихідних композицій на склад продуктів гідратації та дегідратації мінеральних в'язучих систем, а також ступеня кристалохімічної подібності новоутворень на різних стадіях формування штучного каменю, були покладені в основу синтезу жаростійких матеріалів з регульованими фізико-механічними та термо-механічними характеристиками (а.с. СРСР 775070; 1315409; 1418325; 4474120). Використання методів направленою синтезу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

заданого фазового складу продуктів гідратації та дегідратації у поєднанні з кристалохімічним аналізом новоутворень на різних стадіях твердіння каменю дозволило розробити науковий підхід, що забезпечує отримання широкої гами матеріалів поліфункціонального призначення, в тому числі високоміцних, жаростійких та жарокорозійностійких бетонів та захисних і вогнестійких покриттів із залученням у сферу виробництва відходів різних галузей народного господарства.

Розвиток нової техніки, який пов'язано з використанням високих температур, вимагає нових, більш ефективних матеріалів, в тому числі вогнетривких цементів і бетонів на їх основі. З цієї точки зору розробка нових складів в'язучих матеріалів спеціального призначення з комплексом заданих цінних експлуатаційних характеристик: підвищеною міцністю, вогнетривкістю, стійкістю до дії агресивних факторів, є актуальною проблемою, оскільки сприяє розширенню галузей застосування бетонів, торкрет-мас і сухих сумішей, отриманих на основі таких матеріалів.

Вирішити дану проблему можливо шляхом створення шпінельних цементів, мінералогічний склад яких характеризується наявністю алюмомагnezіальної ($MgAl_2O_4$) або хромомагnezіальної ($MgCr_2O_4$) шпінелі, які можна віднести до низькоосновних важкорозчинних сполук (НВРС), а також алюмінатів лужноземельних елементів, які є носіями гідравлічної активності. Шпінельні цементи відносяться до високовогнетривких, швидкотвердіючих та високоміцних в'язучих речовин.

На основі аналітичних досліджень проведено високотемпературний синтез шпінельвмісних цементів у вищезазначених системах та отримані гідравлічні в'язучі матеріали з низьким водоцементним відношенням (0,16-0,27), які є швидкосхоплючимися, швидкотужавіючими (міцність у віці 1 доби складає 25-40 МПа) з

високими показниками міцності у віці 28 діб тверднення 50 – 100 МПа.

Низьке водоцементне відношення пояснюється змочуванням при взаємодії цементу з водою, відбуваються процеси хемосорбції. Поверхня алюмінатної фази заряджена позитивно [18, 19], на її поверхні утворюються сольватні оболонки та позитивні електричні заряди, між якими виникають сили відштовхування. Атоми поверхні НВРС мають вільні орбіталі, які здатні до донорно-акцепторної взаємодії з молекулами води, що призводить до позитивно зарядженої поверхні НВРС.

Заряди, які забезпечують взаємне відштовхування часток алюмінатної фази в розчині сконцентровані, між ними виникають сили притягання, тому що на гострих краях цементних зерен товщина сольватної оболонки менша, ніж на інших ділянках поверхні, тому і щільність електростатичного заряду менше, і, як висновок, сила відштовхування менше. У поверхневих іонів НВРС, із-за розірваних валентностей, не дістає іонів O^{2-} , які мають донорні властивості, тому у присутності води відбувається насичення вільних валентностей, за рахунок переходу протонів від H_2O к O^{2-} та утворення гідроксидних іонів на поверхні НВРС. Таким чином, утворюються плівки, які заважають виходу дислокацій на поверхню при деформуванні і тим самим призводять до зміцнення. У лужних розчинах ці гідроксиди мають здібність до катіонообмінних властивостей з гідроксидами лужноземельних елементів.

Методом атомної адсорбції встановлено, що поверхня НВРС в 4 – 5 разів більш активна із розчину моноалюмінату катіону лужноземельного елемента, ніж комплексні аніони алюмінію за перші 24 години. Цей факт вказує на те, що утворення адгезійних контактів на границі «НВРС – цементуюча фаза» відбувається за рахунок кислотно-основної взаємодії катіонів лужноземельного елемента цементуючої фази та поверхневих шарів OH^- груп НВРС.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Проведено теоретичні та заповнювачів розширюється за рахунок експериментальні дослідження щодо хромомангнетитної шпінелі .

використання шпінельних сполук як заповнювачів та шпінельвмісних цементів у вогнетривких бетонах. Таким чином, найкращим заповнювачем для кальційалюмінатних цементів є алюмомангнетитна шпінель, для барійалюмінатних цементів коло шпінельних

Висновки

У результаті проведених досліджень розроблено теоретичні основи отримання на основі композицій системи (Ca,Ba,Mg)O-Al₂O₃-Cr₂O₃ глиноземистих шпінельвмісних цементів, а також вогнетривких бетонів, де як заповнювач можуть бути застосовані шпінелі.

Список використаних джерел

1. Круглицкий Н.Н. Основы физико-химической механики.- К., Вища школа, 1975.- т.1.- 286 с.
2. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов.- М.: Стройиздат, 1988.- 304 с
3. Грушко И.М., Ильин А.Г., Чихладзе Э.Д. Повышение прочности и выносливости бетона.- К.: Вища школа, 1986.- 149 с.
4. Тимашев В.В. Избранные труды.- М.: Стройиздат, 1986.- 424 с.
5. Пушкарева Е.К. Синтез искусственного камня с заданными свойствами на основе щелочно-щелочноземельных вяжущих систем . Автореферат дис. на соиск. уч. ст.к.т.н., К., 1985.- 16 с.
6. Шпынова Л.Г., Илюхин В.В., Саницкий М.А. Кристаллохимический аспект гидратационной активности цементных минералов // Изв. АН ССР, Неорганические материалы. - 1985. - 21.- №10.- с.1786-1789.
7. Пушкарьова К.К. Жаростійкі матеріали на основі лужних вяжучих систем. Автореферат дис. на здобуття вч. ст. д.т.н., Харків, 1995- 32с.
8. Шабанова Г.Н. Барийсодержащие оксидные системы и вяжущие материалы на их основе / Г.Н. Шабанова – Х.: НТУ «ХПИ», 2006. – 280 с.

Пушкарьова Катерина Костянтинівна, д.т.н., проф., зав. кафедри будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури; Тел.(066) 153 80 53, E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru

Шабанова Галина Миколаївна, д.т.н., проф., гол. наук. співр. кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалі, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; Тел.(050) 906 53 80, E-mail: gala-shabanova@yandex.ru

Pushkarova Katerina K., DSc, Prof, Head of Building Materials Dept, Kiiv National University of Construction and Architecture, Tel.(+38 066) 153 80 53, E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru

Shabanova Galina M., DSc, Prof, Chief Researcher of the Technology of ceramics, refractories, glass and enamel Dept; Tel.(+38 050) 906 53 80, E-mail: gala-shabanova@yandex.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.3

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ РЕЧОВИН І КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ОСНОВІ З ПОЗИЦІЙ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ МЕХАНІКИ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Д-р техн. наук А.А. Пługін

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ С ПОЗИЦИЙ КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Д-р техн. наук А.А. Пługин

STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF MINERAL BINDERS AND COMPOSITE MATERIALS ON THEIR BASIS POSITIONS OF COLLOID CHEMISTRY AND PHYSICAL AND CHEMICAL MECHANICS OF DISPERSE SYSTEMS

DSc A.A. Plugin

Розроблені основні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їх основі, зокрема, класифіковано їх як дисперсні системи і матеріали, встановлено поверхневі заряди і електроповерхневі потенціали їх часток, умови виникнення електрогетерогенних контактів між ними, розроблено основи теорії міцності й водостійкості штучного каменю, встановлено закономірності безнапірної водопроникності, довготривалої повзучості бетону, корозійних та електрокорозійних процесів в ньому

Ключові слова: мінеральні в'язучі, композиційні матеріали, структуроутворення, колоїдна хімія, фізико-хімічна механіка дисперсних систем

Разработаны основные положения коллоидной химии и физико-химической механики минеральных вяжущих веществ и композиционных материалов на их основе, в частности, они классифицированы как дисперсные системы и материалы, установлены поверхностные заряды и электроповерхностные потенциалы их частиц, условия возникновения электрогетерогенных контактов между ними, разработаны основы теории прочности и водостойкости искусственного камня, установлены закономерности безнапорной водопроницаемости, длительной ползучести бетона, коррозионных и электрокоррозионных процессов в нем

Ключевые слова: минеральные вяжущие, композиционные материалы, коллоидная химия, физико-химическая механика дисперсных систем

The basic provisions of colloid chemistry and physicochemical mechanics of mineral binders and composites based on them was developed. In particular, they was classified as disperse systems and materials. The surface charges and electrosurface potential of their particles and the conditions of occurrence of electroheterogeneous contacts between them was clarified. The theory of strength and waterresistance of artificial stone was developed. The lsws of pressure-free waterproofness, long creep of concrete, corrosion and electrocorrosion process was clarified.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Keywords: mineral binders, composite materials, colloid chemistry, physical and chemical mechanics of disperse systems

Актуальність теми.

Портландцемент і композиційні матеріали на його основі, у першу чергу бетон і залізобетон, з кінця XIX – початку XX ст. є основними конструкційними матеріалами. В теперішній час їх властивості прискореними темпами удосконалюються, з'являються нові види бетону – самоущільнюючий, високофункціональний, реакційно-порошковий, галузі його застосування продовжують розширюватися. Технологія бетону в теперішній час зазнає науково-технічну революцію завдяки бурхливому розвитку бетонознавства – міждисциплінарної галузі знань, що вивчає процеси твердіння і руйнування в'язучих матеріалів і бетону з позицій фундаментальних наук. Деякі з видатних вчених навіть у назвах своїх праць підкреслювали їх ґрунтування на фундаментальних науках – фізиці [1], хімії [2; 3], фізичній хімії [4] та її розділах, переважно термодинаміці [5], математиці [6]. Проте такий важливий і дуже плідний розділ фізичної хімії як колоїдна хімія в бетонознавстві дотепер застосовувався недостатньо ефективно.

Мета досліджень – системний розвиток колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки для цементів, бетонів і конструкцій із них.

Історичний нарис розвитку колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки

Колоїдна хімія формувалась у XVIII–XIX ст. в результаті накопичення знань про дисперсні системи і матеріали [7]: 1745–55 – М.Ломоносов досліджує і застосовує дисперсію металів у склі; 1777, 85 – К.Шеєле і Т.Ловіц відкривають адсорбцію; 1806 – П.Лаплас пояснює всмоктування та підняття води пористими матеріалами капілярним тиском; 1808 – Ф.Рейс відкриває електроосмос та електрофорез; 1845 – Ф.Сельмі встановлює різницю між колоїдними та істинними розчинами; 1853 – Г.Гельмгольц надає опис подвійного

електричного шару ПЕШ; 1857 – М.Фарадей створює дисперсії металів у рідкій фазі; 1860-ті – Т.Грем відкриває діаліз, систематизує колоїдну хімію в окрему наукову дисципліну, вводить в обіг терміни «колоїд», «золь», «гель»; 1878 – Д.Гібс розробляє термодинаміку поверхневих явищ; 1905 – А.Ейнштейн надає математичний опис броунівського руху; 1917 – І.Ленгмюр розробляє кінетичну теорію адсорбції; 1928 – П.Ребіндер відкриває адсорбційне зниження міцності; 1938 – Б.Дерягін, Л.Ландау, Е.Фервей і Й.Овербек розробляють теорію стійкості колоїдів ДЛФО; 1940–50-ті рр. – П.Ребіндер досліджує структуроутворення дисперсій, створює новий розділ колоїдної хімії – фізико-хімічну механіку дисперсних систем.

Положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки в будівельному матеріалознавстві, хоча й описово, використовуються з 2 половини XIX ст. [2]: 1867 – В.Михаеліс пропонує колоїдно-хімічну теорію твердіння портландцементу, згідно з якою послідовність твердіння така: твердофазова реакція гідратації мінералів цементу (топохімічний механізм гідратації) – колоїдація гідратованих мінералів цементу – коагуляція колоїдних часток в цементний гель; 1883 – А.Ле-Шательє розвиває припущення А.Лавуазьє, висунуте у XVIII ст. щодо гіпсу, і пропонує кристалохімічну теорію твердіння портландцементу, згідно з якою послідовність твердіння така: розчинення мінералів цементу – утворення пересиченого відносно продуктів гідратації водного розчину – кристалізація із пересиченого розчину продуктів гідратації (крізьрозчинний механізм гідратації) – механічне переплетення кристалів, яке забезпечує міцність цементного каменю і бетону; 1923 – О.Байков пропонує теорію твердіння портландцементу, згідно з якою послідовність твердіння така: твердофазова реакція гідратації мінералів цементу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

(топохімічний механізм гідратації) – утворення цементного гелю – перекристалізація гелю з утворенням цементного каменю, що містить гідросилікатний гель і кристалогідрати.

1954 – П. Ребіндер розробляє теорію гідратаційного структуроутворення, згідно з якою послідовність процесу твердіння така: розчинення мінералів цементу – утворення пересиченого відносно продуктів гідратації водного розчину – утворення із пересиченого розчину гелевих і кристалічних продуктів гідратації (крізьрозчинний механізм гідратації) – структуроутворення: утворення коагуляційної структури з коагуляційними контактами – її перетворення у конденсаційно-кристалізаційну структуру з фазовими контактами. Проте у теорії Ребіндера залишились недоліки й протиріччя: вона залишилась описовою; утворення суцільного кристалізаційного каркасу в конструкції із бетону малоімовірне через неможливість зростання кристалів різних мінералів (із чотирьох клінкерних мінералів утворюються десятки продуктів гідратації різної стехіометрії та кристалічної структури) і зростання однакових, проте несприятливо орієнтованих один до одного кристалів.

1989 – А.М.Плугін розробляє електрогетерогенну теорію твердіння портландцементу [9], яка є розвитком теорії Ребіндера з урахуванням електрогетерогенних взаємодій між дисперсними частками та повністю ґрунтується на кількісних закономірностях фізичної і колоїдної хімії.

Основні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів [10–13]:

1) тверднучі й затверділі неорганічні в'язучі та композиційні матеріали на їх основі, у т.ч. бетони, є полідисперсними матеріалами, а продукти гідратації в'язучих – водно-дисперсними системами з дисперсною фазою – частками продуктів

гідратації, дисперсійним середовищем – розчином електроліту;

2) частки неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах мають поверхневий заряд і електроповерхневий потенціал;

3) між різнойменно зарядженими частками дисперсної фази у тверднучих неорганічних в'язучих і композиційних матеріалах на їх основі виникають електрогетерогенні контакти, які визначають їх міцність (колоїдно-хімічна теорія міцності й водостійкості);

4) поверхневий заряд та електроповерхневий потенціал дисперсної фази впливають на процес фільтрації в капілярно-пористих матеріалах (безнапірна водопроникність бетону);

5) поверхневий заряд й електроповерхневий потенціал дисперсної фази впливають на процес дифузії в капілярно-пористих матеріалах, зокрема, на проникнення агресивних речовин у бетон і винесення із нього продуктів корозії; дифузія визначає швидкість корозії і термін служби бетонних і залізобетонних конструкцій;

6) характер полідисперсної структури бетону визначає фізичні та фізико-механічні властивості бетону, в особливості його безнапірну водопроникність і понаднормативну довготривалу повзучість;

7) понаднормативна довготривала повзучість цементного бетону визначає понаднормативні деформації довгомірних і тонкостінних залізобетонних конструкцій із них.

Неорганічні в'язучі речовини і композиційні матеріали на їх основі як дисперсні системи

На рис.1 наведені мікроскопічні та електронно-мікроскопічні знімки, які підтверджують, що цементний камінь і композиційні матеріали на його основі, у т.ч. бетони, є полідисперсними матеріалами (розмір часток гідросилікатів кальцію – десятки нанометрів, зерен крупного заповнювача – десятки міліметрів, табл.1).

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Аналіз електронно-мікроскопічних знімків, наведених на рис.1, δ і γ [10], дозволив уточнити, що гідросилікатний гель може агрегуватись у глобули, утворені з окремих часток різної форми, розмір яких в середньому можна прийняти рівним 25 і 5 нм, відповідно. Це надає можливість розглядати їх структуру як багаторівневу (рис.1, табл.1).

Таке уявлення дозволяє для ефективного керування структурою та властивостями композиційних матеріалів застосовувати структурні характеристики кожного рівня – коефіцієнти розсунення зерен крупного та дрібного заповнювача α і

μ , водоцементне відношення В/Ц та співвідношення між кількістю гелевих та кристалічних продуктів гідратації Г/К (табл.1), забезпечуючи їх певні оптимальні значення.

Поверхневий заряд та електроповерхневий потенціал часток неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах обумовлені наявністю подвійного електричного шару ПЕШ на границі розподілу фаз. Основні рівняння, що визначають електроповерхневий потенціал часток неорганічної дисперсної фази у водно-дисперсних системах [9; 10]:

$$\psi^0_{ex} = E^0 + \Delta\psi^0; \quad \psi^0_{en} = 9,04 \frac{n^{2/3}}{r^2} - \frac{14,39}{r}; \quad (1)$$

$$\psi^0_{XYZ} = -\frac{x\psi^0_X + y\psi^0_Y + z\psi^0_Z}{x+y+z}; \quad \psi^0_p = \psi^0 - 0,059pH \quad (2)$$

де ψ^0 – абсолютний електроповерхневий потенціал простої речовини, В, визначений електрохімічним методом за [9] (ψ^0_{ex}) та енергетичним методом за [10; 19] (ψ^0_{en});

E_0 – стандартний електродний потенціал простої речовини (елементу), В;

$\Delta\psi^0$ – поправка, що враховує перехід від стандартного електродного до електроповерхневого потенціалу, В;

n – кількість електронів у зовнішній s або p орбіталі атома;

r – атомний радіус (іонний для атомів, що утворюють аніони), м;

ψ^0_{XYZ} – абсолютний електроповерхневий потенціал складної речовини $X_xY_yZ_z$, де x, y, z – стехіометричні коефіцієнти елементів X, Y, Z ;

$\psi^0_X, \psi^0_Y, \psi^0_Z$ – абсолютні електроповерхневі потенціали елементів X, Y, Z ; ψ^0_p – рівноважний електроповерхневий потенціал простої або складної речовини.

Абсолютні електроповерхневі потенціали елементів визначені електрохімічним розрахунково-експериментальним методом у [9], енергетичним розрахунковим методом – у [10; 19]. Абсолютні та рівноважні електроповерхневі потенціали структурних складових мінеральних в'язучих та композиційних матеріалів на їх основі наведені у табл.2. Знаки і величини потенціалів підтверджені різними незалежними експериментальними методами, наприклад, сепарацією порошоків у високовольтному електричному полі [10; 20].

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

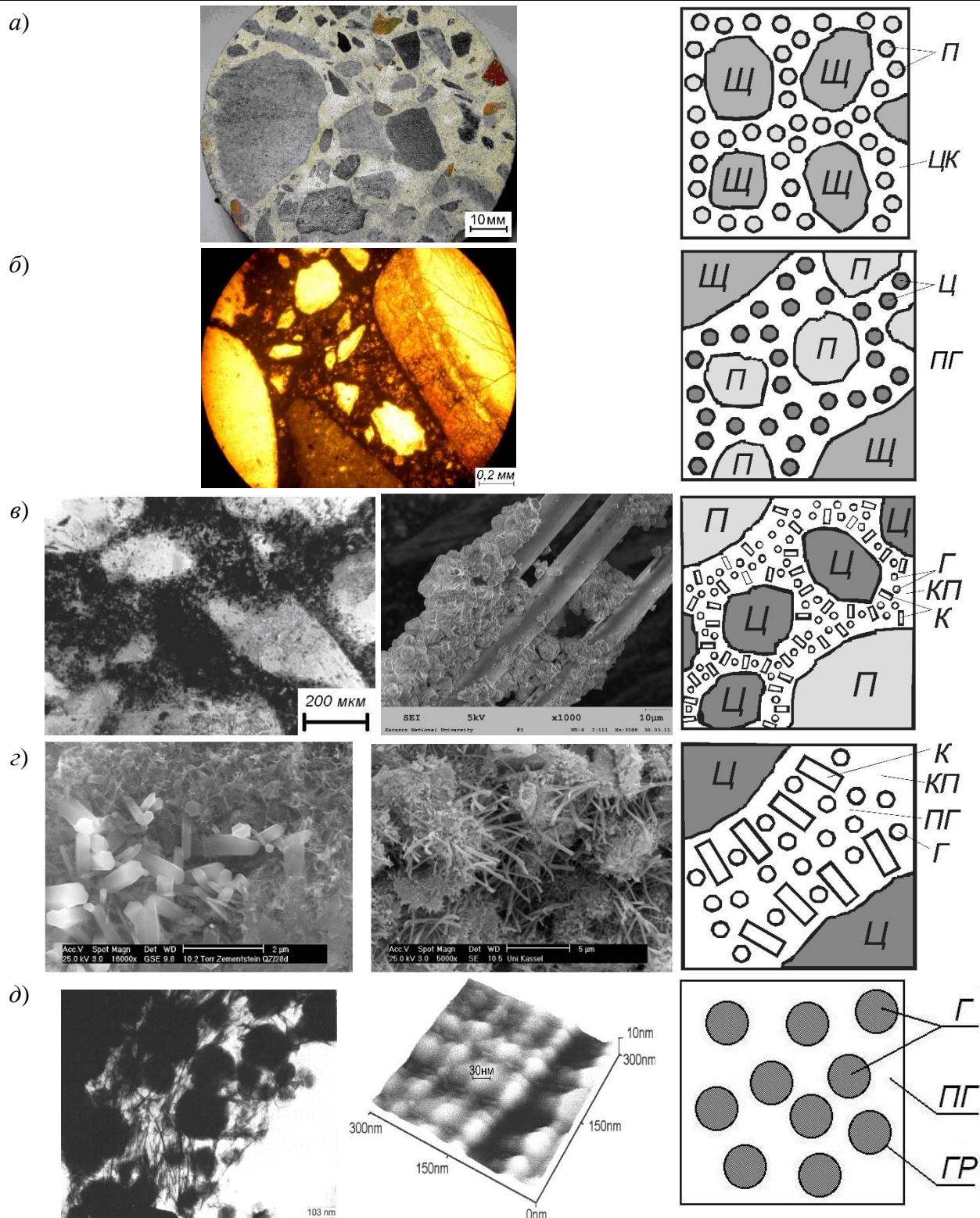


Рис.1 Знімки і схеми цементного каменю і композиційних матеріалів на його основі: *a* – бетон (зріз зерна) – макроструктура; *б* – розчинна частина бетону (зріз зерна, бінокулярний мікроскоп) – мезоструктура; *в* – цементний камінь (прозорий шліф, світловий мікроскоп [8]), у т.ч. армований волокнами (відкол, СЕМ, [14]) – мікροструктура; *г* – продукти гідратації цементу (відколи цементного каменю, СЕМ [15; 16]) – субмікροструктура; *д* – гідросилікатний гел (СЕМ, [17]; АСМ [18]) – колоїдна структура; *КП* – капілярні пори; *ПГ* – пори гелю, *ГР* – границі розподілу фаз; інші позначення – у табл.1

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Таблиця 1

Характеристики рівнів структури цементного каменю і бетону як композиційного матеріалу

Рівень структури	Структуруючі елементи СЕ		Матриця		Структурні характеристики рівня
	Найменування	Розміри	Найменування	Частки матриці ЧМ	
Макро (рис.2, а)	Зерна крупного заповнювача <i>Щ</i>	понад 5 мм	Цементно-піщаний розчин	<i>П</i>	Коефіцієнт розсунення зерен щебеню розчином <i>а</i>
Мезо (рис.2, б)	Зерна дрібного заповнювача <i>П</i>	0,14–5 мм	Цементне тісто – цементний камінь <i>ЦК</i>	<i>Ц</i>	Коефіцієнт розсунення зерен піску цементним тістом <i>μ</i>
Мікро (рис.2, в)	Частки цементу <i>Ц</i> та мінеральних добавок	10–140 мкм	Продукти гідратації цементу <i>ПГ</i>	<i>К</i>	Водоцементне відношення <i>В/Ц</i>
Суб-мікро* (рис.2, з)	Кристалогідрати <i>К</i>	200–600 нм	Гідросилікатний гель	<i>Г</i>	Співвідношення між гелевими і кристалічними продуктами гідратації
Колоїдний* (рис.2, д)	Частки (глобули) гідросилікатного гелю <i>Г</i>	до 100 нм	Дисперсійне середовище – розчин електроліту (<i>Ca(OH)₂</i>)	–	–

* субмікро та колоїдний рівні відповідають нанорівню структури

Електрогетерогенні й електрогомогенні контакти між частинками дисперсної фази у твердіючих мінеральних в'язучих і композиційних матеріалах на їх основі. Колоїдно-хімічна теорія міцності й водостійкості

У водно-дисперсних системах між частками дисперсної фази можливе утворення таких контактів [21]:

- коагуляційних контактів між частинками з однойменними поверхневими зарядами при невисокій концентрації електроліту – електрогомогенних контактів, які є слабкими і в основному визначають тіксотропні властивості сумішей і невисоку міцність та/або водостійкість таких повітряних в'язучих, як повітряне вапно, гіпс

(концентрація порового електроліту близько 0,02 моль/л);

- контактів між частинками з однойменними поверхневими зарядами при високій концентрації електроліту – концентраційних електрогомогенних контактів, що мають високу міцність, але втрачають її при розбавленні порового електроліту, тобто водонасиченні, і визначають високу міцність, проте не забезпечують водостійкість таких замішуваних розчинами електролітів повітряних в'язучих, як магнезіальні або силікатні на основі рідкого скла (концентрація порового електроліту – 1,7–27 моль/л);

- контактів між частинками з різнойменними поверхневими зарядами –

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

електрогетерогенних контактів ЕГК, що забезпечують високу міцність гідравлічних силікатних, алюмінатних, лужних цементів.

Із рис.1 видно, що в структурі продуктів гідrataції портландцементу, спочатку коагуляційній, потім конденсаційно-кристалізаційній, наявні як частки кристалогідратів – портландиту, гідросульфоалюмінатів та гідроалюмінатів кальцію, що мають позитивний поверхневий заряд, так і частки гідросилікатного гелю, що мають негативний поверхневий заряд (табл.2). Між ними утворюються як ЕГК, так і електрогомогенні контакти (рис.2).

Аналогічні контакти утворюються між частками продуктів гідrataції і частками цементу, зернами заповнювачів. З цих контактів саме ЕГК мають високу міцність та водостійкість, оскільки в них і молекулярна і електростатична складова взаємодії є притягуючою, відсутні сили, що перешкоджають притяганню, крім останнього мономолекулярного шару води, і саме вони на відзнаку від досить локальних кристалізаційних контактів здатні забезпечити просторову міцну структуру продуктів гідrataції по всій конструкції із бетону і, відповідно, міцність бетону.

Таблиця 2

Електроповерхневі потенціали структурних складових мінеральних в'язучих та композиційних матеріалів на їх основі

№	Найменування	Потенціал, В		рН (для ψ^0_p)
		ψ^0	ψ^0_p	
1	Аліт C_3S	+0,74	-0,03	12
2	Беліт C_2S	+0,55	-0,16	«
3	Грьохкальцієвий алюмінат C_3A	+0,90	+0,20	«
4	Портландцемент $0,6C_3S \times 0,2C_2S \times 0,06C_3A \times 0,14C_4AF$	+0,71	-0,04	«
5	Портландит $Ca(OH)_2$	+1,24	+0,53	«
6	Високоосновні гідросилікати кальцію C_2SH	+0,59	-0,11	«
7	Низькоосновні гідросилікати кальцію CSH	+0,29	-0,37	«
8	Гідроалюмінат кальцію C_3AH_6	+0,92	+0,21	«
9	Еtringіт $C_3A \times 3CaSO_4 \times H_{32}$	+0,90	+0,19	«
10	Гідросульфоалюмінат кальцію $C_3A \times CaSO_4 \times H_{19}$	+1,24	+0,53	«
11	Гіпс $CaSO_4 \times 2H_2O$	+0,49	+0,01	8
12	Кремнекислота $SiO_2 \times 2H_2O$	+0,02	-0,38	7
13	Анальцит $Na_2O \times Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times 4H_2O$	+0,15	-0,25	«
14	Натроліт $Na_2O \times Al_2O_3 \times 3SiO_2 \times 2H_2O$	+0,21	-0,20	«
15	Шабазит $CaO \times Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times 6,5H_2O$	+0,12	-0,26	«
16	Кварц SiO_2	-0,55	-1,26	12
17	Граніт $0,3SiO_2 \times 0,7K_2O \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$	-0,07	-0,78	«
18	Кальцит $CaCO_3$	+1,26	+0,55	«
19	Будівельне скло (скловолокно) $Na_2O \times CaO \times 6SiO_2$	+0,22	-0,50	«
20	Лугостійке скловолокно $0,14Na_2O \times 0,6SiO_2 \times 0,2ZrO_2$	+0,02	-0,68	«
21	Базальтове волокно $0,09CaO \times 0,06MgO \times 0,53SiO_2 \times 0,16Al_2O_3 \times 0,12Fe_2O_3$	-0,10	-0,84	«
22	Невивітрений хризотил $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ (бруситовий шар $Mg_6(OH)_8$)	+0,92	+0,22	«
23	Вивітрений хризотил $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ (кремнійкисневий шар Si_4O_{10})	-0,68	-1,41	«

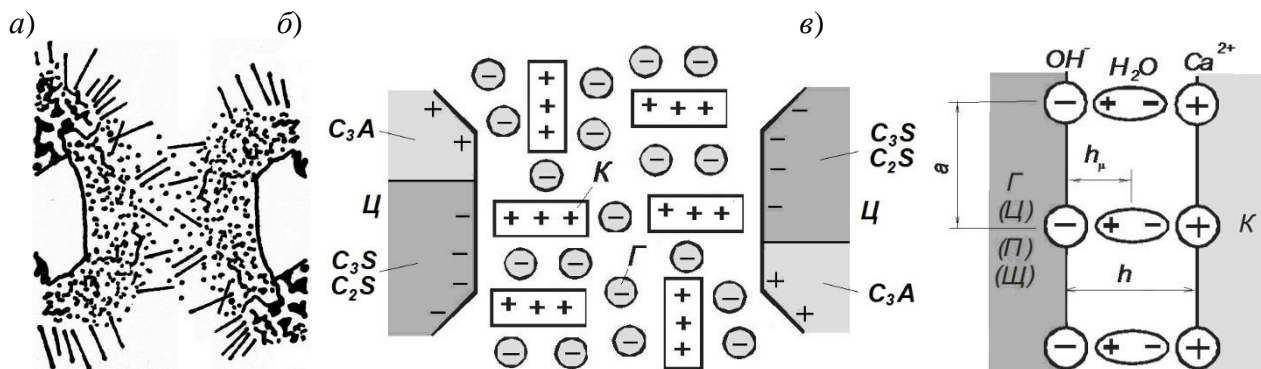


Рис.2 Схема електрогетерогенних контактів між частинками продуктів гідратації, цементу, заповнювачів: *а* – загальна схема контакту між частками цементу через продукти гідратації (на основі схеми із [2]); *б* – схема контакту між частками цементу через продукти гідратації з електрогетерогенними контактами ЕГК; *в* – ЕГК через мономолекулярний водний прошарок

Основна гіпотеза щодо формування міцності й водостійкості штучного каменю мінеральних в'язучих і композиційних матеріалів на їх основі полягає у створенні структури з максимальною кількістю ЕГК за рахунок оптимального співвідношення продуктів гідратації з позитивним (кристалогідратів) і негативним (гідросилікатного гелю) поверхневим зарядом (сумарний заряд системи прагне до нуля).

На моделі структури рис.2 ґрунтується колоїдно-хімічна теорія міцності цементного каменю і бетону. Одиначним елементом міцності є парний контакт між протилежними потенціалвизначальними іонами кристалогідрату (Ca^{2+}) і гідросилікатного гелю (цементу, мінеральних добавок, заповнювачів), що здійснюється через дипольну молекулу води

(рис.2, в). Сила взаємодії в такому контакті визначається відомим законом Кулона та рівнянням взаємодії між зарядом і дипольним моментом, що з нього витікає. Згідно теорії міцності дисперсних систем Ребіндера – Щукіна [22] міцність цементного каменю на розтяг $R_t^{чк}$, Па може бути визначена як добуток міцності ЕГК між поверхнями дисперсних часток $R_t^{егк}$, Па і поверхневої долі ЕГК у перерізі цементного каменю $\gamma_s^{егк}$, а міцність ЕГК між поверхнями дисперсних часток $R_t^{егк}$ – як добуток сили взаємодії між потенціалвизначальними іонами ПВІ в парному контакті $P_{егк}$, Н і поверхневої концентрації потенціалвизначальних іонів ПВІ на дисперсній частці (кристалогідраті) n^0 , $1/m^2$:

$$R_t^{чк} = R_t^{егк} \times \gamma_s^{егк}, \quad R_t^{егк} = P_{егк} \times n^0 = [Н \times 1/m^2 = Па]. \quad (3)$$

Поверхнева доля ЕГК у перерізі цементного каменю $\gamma_s^{егк}$ залежить від його пористості, отже В/Ц, ступеня гідратації і т.д. і в найсприятливішому випадку може наближатись до 1. Сила парної взаємодії між ПВІ $P_{егк}$ згідно рис.2, в складається із іон-іонної взаємодії (притяжіння) між ПВІ та іон-дипольної взаємодії між ПВІ дисперсної частки (кристалогідрату) і полярною молекулою води, через мономолекулярний

шар якої взаємодіють частки. Поверхневу концентрацію ПВІ на дисперсній частці n^0 визначено в залежності від рівноважного електроповерхневого потенціалу за [10]. В результаті подальших перетворень (3) з деталізацією схем рис.1 і 2, б, в було встановлено величину $R_t^{егк}$ для ЕГК між кристалогідратом $Ca(OH)_2$ і негативно зарядженими поверхнями гідросилікатного гелю, мінеральних добавок або заповнювачів – $1,4 \times 10^6$ Па, а також виведено рівняння

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

міцності цементного каменю на розтяг $R_t^{ук}$ ($R^{ук} \approx 10R_t^{ук}$):
(міцність на стиск можна прийняти рівною

$$R_t^{ук} = 18,9AB\alpha^u \times \frac{(Ц/B)^2}{0,29Ц/B + 3,1} \text{ при } B/Ц \geq 0,23; \quad (4)$$

$$R_t^{ук} = 360,5AB\alpha^u \times \frac{1}{1,82Ц/B - 3,1} \text{ при } B/Ц < 0,23, \quad (5)$$

де A , B – доля максимально можливої кількості кристалогідратів і гідросилікатного гелю, відповідно, від маси цементу, яка залежить від мінерального складу цементу, для бездобавочного портландцементу $A \approx 0,57$, $B \approx 0,65$ [23];

α^u – ступінь гідратації цементу; $Ц/B$ – цементно-водне відношення.

Адекватність цих рівнянь підтверджується збіжністю з експериментальними даними (рис.3). Аналіз рівнянь показує, що міцність цементного каменю залежить від $B/Ц$, доли максимально можливої кількості кристалогідратів і гідросилікатного гелю від маси цементу, зокрема, їх добутку AB , ступеня гідратації

цементу α^u . Отримана розрахунковим шляхом залежність $AB = f(A/B)$ (при $B = 1,22 - A$) наведена на рис.4, з якого видно, що максимальне значення добутку AB , а отже, міцність за (4) і (5), спостерігається за $A/B \approx 1$.

На рис.5 наведена залежність міцності штучного каменю силікатних і алюмінатних в'язучих від співвідношення кількості кристалогідратних і гелевих продуктів їх гідратації K/G . Як видно із рис.5, ця залежність має екстремальний характер з максимумом для силікатних в'язучих 0,9–1, для алюмінатних – 0,15–0,2.

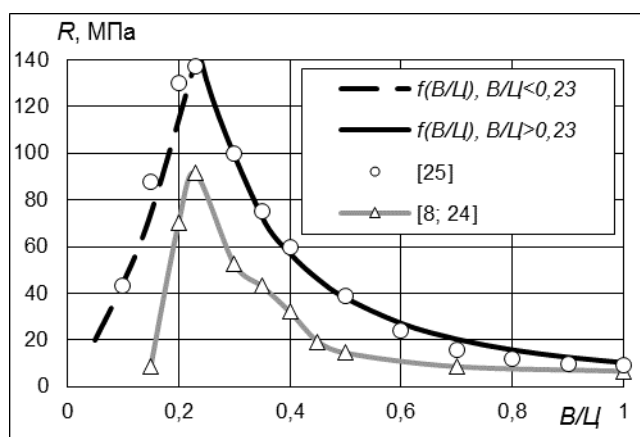


Рис.3 Залежність міцності цементного каменю R на стиск від $B/Ц$: розрахункових значень за (6), (7) при $\alpha^u = 0,5$ і експериментальних значень за [8; 24; 25]

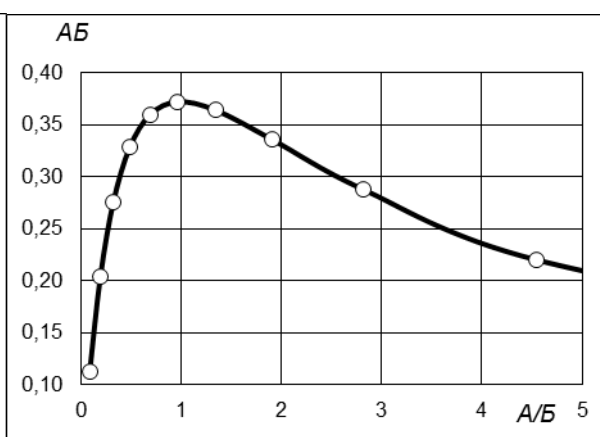


Рис.4 Залежність добутку масових долей від кількості цементу кристалогідратних і гелевих продуктів AB від їх відношення A/B [10]

Ці основоположні первинні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин та композиційних матеріалів на їх основі,

рівняння електроповерхневого потенціалу дисперсної фази, міцності ЕГК і цементного каменю дозволяють ефективно керувати властивостями бетону і композиційних

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин.

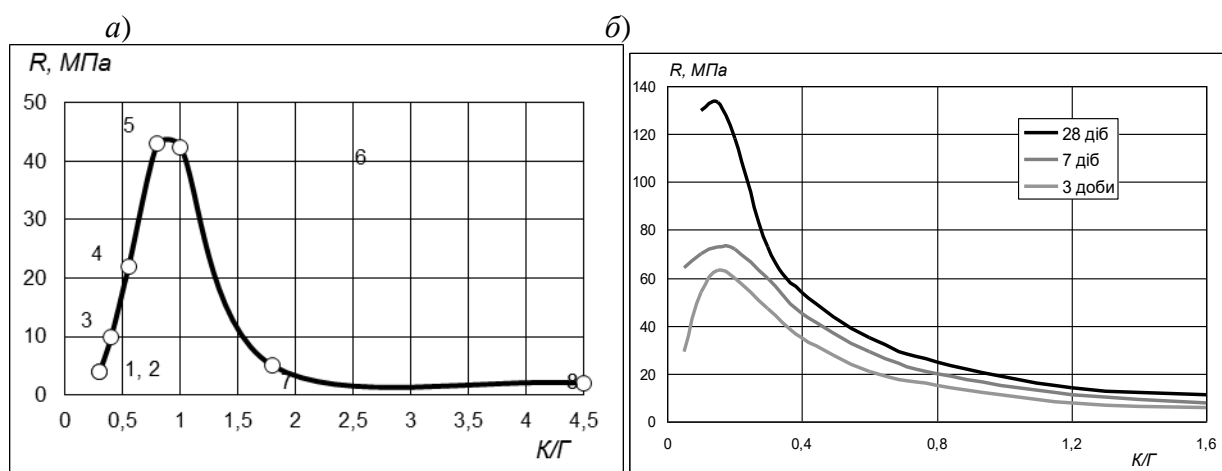


Рис.5 Залежність міцності на стиск R штучного каменю: а – силікатних в'язучих (1 – романцементу; 2 – C_2S ; 3 – $0,25C_3S+0,75C_2S$; 4 – $0,5C_3S+0,5C_2S$; 5 – $0,75C_3S+0,25C_2S$; 6 – C_3S ; 7 – гідралічного вапна; 8 – повітряного вапна) від масового відношення кількості кристалогідратів до гідросилікатного гелю K/G [21]; б – алюмінатів кальцію різної основності від співвідношення за масою позитивно заряджених кристалогідратів C_3AH_8 і негативно зарядженого гелю гідроксиду алюмінію $Al(OH)_3$ K/G (побудована за даними [26])

Безнапірна водопроникність композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин – рух води в капілярно-пористому матеріалі, зокрема, бетони, під дією не тільки відомих гідростатичного тиску (згідно закону Дарсі) або капілярного підняття, а суми зовнішнього гідростатичного p_h і внутрішніх тисків [10; 27]. При зіткненні води з поверхнею сухого або вологого бетону починається її проникнення в нього під спільною дією вказаних тисків. Спочатку проникнення відбувається інтенсивно, потім по мірі водонасичення бетону уповільнюється до встановлення стаціонарного потоку. Дослідити цей процес дозволяють аналіз роботи однобічно або частково обводнених конструкцій, наприклад, обробки тунелів у обводнених ґрунтах (рис.6, а, б), ємкісної споруди, а також нескладні пристосування і дослід, які моделюють цю роботу (рис.6, в, г).

На рис.6, г стаціонарному потоку відповідає права пряма ділянка інтегральної залежності кількості поглиненої води від часу (після 20 діб). Безнапірну водопроникність $W_{бв}$ запропоновано

визначена за цією ділянкою:

$$W_{бв} = \frac{dV}{d\tau} \times \frac{1}{dS} = \left[\frac{M^3}{c} \times \frac{1}{M^2} = \frac{M}{c} \right], \quad (8)$$

де $dV/d\tau$ – об'єм поглиненої за одиницю часу води на прямій ділянці інтегральної залежності $V = f(\tau)$;

dS – площа входження потоку води в бетон.

Для бетону W2 (рис.6, г) безнапірна водопроникність за (8) складе $3,5 \times 10^{-10}$ м/с.

Потік крізь бетон і цементний камінь визначається переважно гідросилікатним гелем ГСГ цементного каменю як складовою найбільшої дисперсності (рис.1, д). Стаціонарний потік встановлюється при рівності нулю суми зовнішнього p_h і внутрішніх тисків, що спричиняють фільтрацію – осмотичного $p_{ос}$, капілярно-осмотичного $p_{ко}$, капілярного підняття $p_{кп}$, електрокапілярного $p_{ек}$ та перешкоджають їй – внутрішнього тертя (в'язкісного опору) $p_{тр}$, потенціалу течії $p_{нт}$. Природу цих тисків детально розкрито у [10; 25], рівняння їх рівноваги має вигляд:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

$$p_h + p_{oc} + p_{ko} + p_{kl} + p_{ek} - p_{tr} - p_{nt} = 0, \quad (6)$$

де внутрішні тиски визначаються за [10; 25]. При незначному зовнішньому тиску, щільному цементному камені, незначній швидкості фільтрації можна прийняти $p_h = 0$, $p_{tr} = 0$, $p_{nt} = 0$: $p_{oc} + p_{ko} + p_{kl} + p_{ek} = 0$.

В результаті багаторазово виконуваних досліджень, таких, як вказано на рис.6, з, встановлено, що характерну криву безнапірної водопроникності цементного каменю можна уявити такою, що складається із 4 розділених переламками ділянок, дві останні з яких практично лінійні (рис.6, д, дві перші ділянки показані лінійними умовно). Цим ділянкам відповідають швидкості потоку $dV/d\tau$, обумовлені різними сполученнями внутрішніх тисків. При контакті води з поверхнею бетону її проникнення здійснюється під дією всіх вказаних внутрішніх тисків таким чином, що кут нахилу кривої на її 1-й ділянці є максимальним і на кожній з наступних

ділянок зменшується (рис.6, з, д). Електрокапілярний тиск p_{ek} , тиск капілярного підняття p_{kl} і капілярного осмосу p_{ko} діють в період водонасичення зразка водою, а також у разі перевищення $dV/d\tau$ швидкістю випаровування з поверхні з, рис.6, б, а осмотичний p_{oc} – на всіх стадіях водонасичення та фільтрації.

З урахуванням викладеного механізм безнапірної водопроникності (фільтрації) полягає у встановленні стаціонарного потоку рідини крізь капілярно-пористу систему цементного каменю під дією сил осмотичного тиску води p_{oc} і сил тертя води о стінки капілярів. В результаті подальших перетворень рівняння (6) отримано залежність безнапірної водопроникності бетону $W_{\delta\delta}$ від B/C , ступеня гідратації цементу α^u та ін. [10]:

$$W_{\delta\delta} = \frac{p_{oc} P_{uc}^{uk} \delta_{au} \times \left(\frac{1}{\rho^u} + \frac{1}{\rho^6} \times \frac{B}{C} \right)}{\eta l_{\phi} \alpha^u \gamma^2 s^2}, \quad (7)$$

де P_{uc}^{uk} і δ_{au} – пустотність цементного каменю і товщина адсорбційного шару води, відповідно:

$$P_{uc}^{uk} = \frac{\alpha^u \gamma^2 \delta_{au}}{\rho^6 \times \left(\frac{1}{\rho^u} + \frac{1}{\rho^6} \times \frac{B}{C} \right) \times \left(\frac{r^{2l,z}}{3} + \delta_{au} \right)}; \quad \delta_{au} = \frac{B/C - B_{xz}/C}{\rho^6 \alpha^u \gamma^2 s^2}, \quad (8)$$

γ^2 – частка гелю в цементному камені.

Розрахунки за (7–8) показали, що для $B/C = 0,23-0,4$ $W_{\delta\delta}$ знаходиться у межах $(1,7-4,4) \times 10^{-10}$ м/с, що близько до експериментальних величин (рис.9, з). Це підтверджує коректність уявлень про механізм безнапірної фільтрації води, що дозволяє використовувати значення $W_{\delta\delta}$ для оцінки швидкості вилуговування цементного каменю і бетону (рис.6, а), кінетики повзучості тощо. Таким чином, на безнапірну

водопроникність цементного каменю і бетону на стадії водонасичення впливають осмотичний, капілярно-осмотичний, капілярний і електрокапілярні тиски, а на стадії встановлення стаціонарного потоку – осмотичний тиск і в'язкісний опір течії. Наведені рівняння та експериментальна методика дозволяють ефективно керувати водонепроникністю та довговічністю бетону.

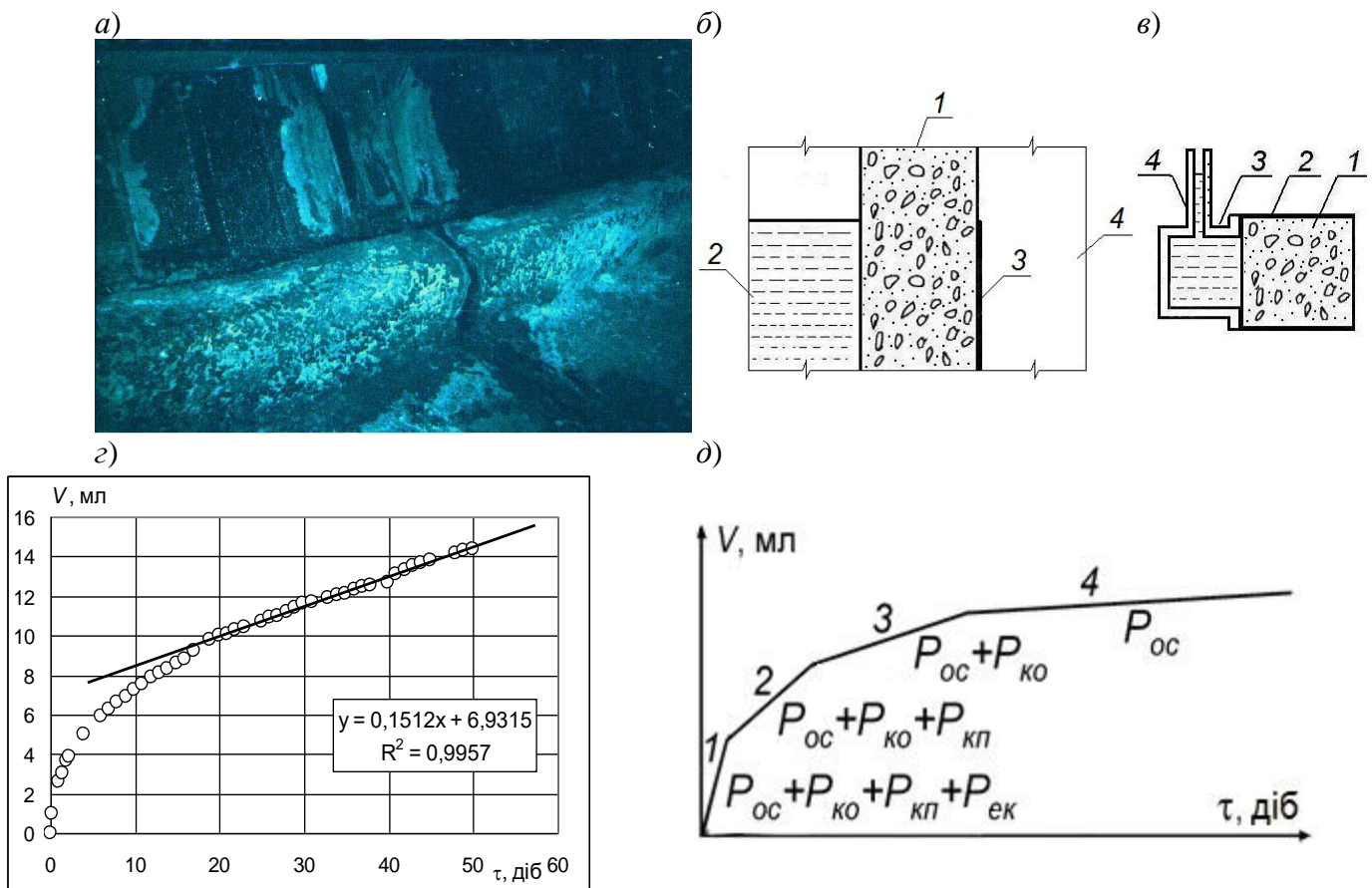


Рис.6 Безнапірна водопроникність бетону: *a* – патьоки і висоли на поверхні бетону W4–8 обробки тунелю метрополітену, розташованого в обводнених ґрунтах; *б* – модель умов, за яких відбувається безнапірна водопроникність (фільтрація) крізь конструкцію із бетону: 1 – конструкція; 2 – вода у ємності, водоймищі, ґрунті тощо; 3 – шар води на поверхні конструкції (у патьоку тощо); 4 – повітряне середовище; *в* – пристосування для дослідження безнапірної водопроникності: 1 – зразок бетону; 2 – водонепроникне покриття; 3 – чарунка з водою; 4 – вимірювальна трубка; *г* – експериментальна крива безнапірної водопроникності – інтегральна залежність кількості поглиненої зразком бетону W2 води V від часу τ ; *д* – узагальнена крива безнапірної водопроникності цементного каменю або бетону

Вилугування цементного каменю і бетону

На основі уявлень про безнапірну водопроникність розглянуто механізм вилугування цементного каменю і бетону від фільтрації води крізь них. Загальноприйнятий механізм і модель корозії бетону I виду, а також нормування його відповідних термінів служби ґрунтуються на уявленнях про фільтрацію води крізь бетон і вилугування з нього вапна [28]. У [28] емпірично встановлено

граничну кількість CaO $K_{CaO} \approx 10\%$ або 0,1, винесення якої призводить до гранично допустимого зниження міцності бетону (у разі подальшого винесення відбувається різке неприпустиме зниження міцності). З цієї величини обчислюється кількість води $V_в$, $см^3/см^3$, яка, фільтруючи крізь одиницю об'єму бетону, призводить до винесення з нього цієї кількості CaO , за час τ (термін безпечної служби споруди).

З урахуванням цього запропоновано нормувати фільтраційні властивості бетону

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

для обводнених конструкцій і прогнозувати термін їх служби τ [10]. Кількість води V і коефіцієнт фільтрації K_ϕ можуть бути

$$V_e = \frac{K_{CaO} \Pi \alpha_{CaO}}{c_{CaO}}; K_\phi = W_{бв} = \eta \times \frac{K_{CaO} \Pi \alpha_{CaO} l_\phi^2}{\tau c_{CaO}}, \quad (9)$$

де Π – витрата цементу у бетоні, г/см³;
 α_{CaO} – максимальна доля CaO від маси цементу, яка здатна вилугуватись із нього, для бездобавочного цементу близько 0,63;
 c_{CaO} – розчинність CaO , 0,0012 г/см³;
 η – коефіцієнт впливу температури, за 20°C рівний 1;

визначені за удосконаленими рівняннями із [28], у яких K_ϕ замінено на $W_{бв}$:

l_ϕ – довжина шляху фільтрації або товщина конструкції, см;
 p – сума тиску води на обробку p_h і осмотичного тиску води $p_{ос}$, виражена у см водяного стовпа (напір):

$$p = (p_h + p_{ос}) / \rho^g g = [\text{Па} / ((\text{г/см}^3) \times (\text{м/с}^2)) = \text{м}]. \quad (10)$$

Величина осмотичного тиску води дорівнюватиме :

$$p_{ос} = \Delta c RT = 20 \times 8,31 \times 293 = 49000 \text{ Па} = 0,049 \text{ МПа},$$

де $\Delta c = c_b - c_{сп}$ – різниця концентрації електроліту $Ca(OH)_2$ в поровій волозі бетону c_b (та у патьоку, рис.6, б) і у ґрунтовій воді за обробкою споруди $c_{сп}$, моль/м³;

$c_b = 0,02$ моль/л = 20 моль/м³ (рівна розчинності $Ca(OH)_2$ у воді при рН = 12,5);

величиною $c_{сп}$, зневажили, тобто $\Delta c = c_b$.

Напір p_h у водопроникних ґрунтах дорівнює висоті стовпа води від рівня ґрунтових вод до обробки тунелю. У разі впливу підземних вод їх напір можна визначити шляхом прямого вимірювання тиску води за обробкою. За незначного тиску фільтрація води крізь бетонну (залізобетонну) обробку здійснюється за рахунок осмотичного тиску $p_{ос}$, величина якого 0,049 МПа практично постійна при контакті ґрунтової води з бетоном, цементним каменем. У такому вигляді (9), (10) прийнятні для нормування коефіцієнта фільтрації бетону конструкцій, наприклад, обробки тунелю.

Більш коректно величину K_{CaO} запропоновано визначити, виходячи з розроблених кількісних уявлень про міцність цементного каменю і бетону і природі ЕГК [10]. Згідно з цими уявленнями міцність

в'язучих визначається поверхневою часткою ЕГК $\gamma_s^{зек}$, яка у свою чергу визначається масовим відношенням кількостей кристало-гідратних (позитивно заряджених) і гідросилікатних (негативно заряджених) продуктів гідратації цементу. Міцність цементного каменю R за (4), (5) знаходиться в екстремальній залежності від цього відношення з максимумом за $K/G = 0,86 \approx 0,9$.

Мінімально допустиму граничну відносну величину міцності $K_{гр}$ можна визначити як частку від ділення розрахункового значення міцності бетону на стиск f_{cd} на характеристичне (нормативне) значення $f_{ck,prism}$ за ДБН В.2.6-98:2009. Наприклад, для бетону класу С32/40 $K_{гр} = f_{cd} / f_{ck,prism} = 22/29 = 0,76$. За рис.5, а зниженню міцності від максимального значення 44 МПа до мінімального $44 \times 0,76 = 33$ МПа відповідає зменшення (за рахунок розчинення кристалогідратів $Ca(OH)_2$) відношення K/G від 0,86 до 0,68, або на $(0,86 - 0,68) / 0,86 = 0,21 = 21$ %. З урахуванням ступеня гідратації цементу $\alpha^u = 0,5$ (в середньому) K_{CaO} складе $K_{CaO} = (0,5 \times 0,21) \times 100 \approx 11$ %.

Приклад розрахунку нормованого $W_{бв}$:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

підставивши у (9) $l_{\phi} = 20$ см (товщина обробки тунелю метрополітену), $\tau = 400$ років (нормативний термін служби тунелів метрополітену) тощо, отримуємо $W_{\phi} = 5,1 \times 10^{-10}$ м/с.

Як бачимо, отримана реальна гранична величина безнапірної водопроникності W_{ϕ} , яку можливо визначити за даними про склад

бетону. Цей спосіб придатний також для прогнозування довговічності бетону обробки (конструкції) на будь-якій ділянці шляхом відбору зразків (кернів), визначення дійсної величини їх безнапірної водопроникності W_{ϕ} і прогнозування терміну служби бетону на цій ділянці за допомогою виразу

$$\tau = \frac{V_{\phi} \times l_{\kappa}}{W_{\phi} \times l_{\phi}} = \left[\frac{(cm^3/cm^3) \times cm}{(cm/c) \times cm} = c \right], \quad (11)$$

де l_{κ} , l_{ϕ} – довжина шляху фільтрації в конструкції і випробовуваному зразку, відповідно, см.

Приклад: для реальних величин $W_{\phi} = 1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-10}$ м/с тощо τ складатиме 2,1–210 років, що відповідає реальним, як вкрай низьким, так і тривалим термінами служби бетону при корозії 1 виду. Рівняння (11) дозволяє прогнозувати довговічність бетону за вилуговуванням і ефективно керувати нею. Отримані аналогічні моделі та рівняння для карбонізації захисного шару, мікробіологічної корозії, електрокорозії бетону від дії пульсуючого однонаправленого електричного струму [10; 29].

Наднормативна довготривала повзучість бетону

Аналіз результатів обстежень 25 великих залізобетонних мостів з максимальною довжиною прогону 53–195 м, зведених у 1955–93 гг. у В.Британії, Нідерландах, Норвегії, США, Чехії, Швейцарії, Швеції [30; 31] показав, що вони піддаються тривало зростаючим (long-term increase) надвеликим прогинам (excessive deflections, рис.7), обумовленим наднормативною довготривалою повзучістю бетону стиснутої зони. Як видно, довготривала повзучість бетону і надмірні (наднормативні) прогини прогонових споруд розвиваються протягом декількох десятиліть, прогини досягають декількох десятків см, а при екстраполяції й метрів, що значно

перевищує допустимі величини. Аналогічні деформації виявлені й для тонкостінних залізобетонних конструкцій [32].

Для уточнення механізму довготривалої повзучості бетону було виконано аналіз результатів тривалих експериментальних досліджень деформування цементного каменю (ПЦ I-500, В/Ц = 0,4, природне твердіння, $R_{28} \approx 50$ МПа) [10]. Дослідження полягали в тривалому навантаженні осьовим стиском 15,2 МПа зразків-призм розміром 400×100×100 мм із цементного каменю і вимірюванні їх деформації Δh з точністю 0,01 мм. Кінетична крива деформування зразка представлена на рис.8, а, а узагальнена кінетична крива деформування цементного каменю – на рис.8, б.

За короткочасного навантаження пружне деформування цементного каменю спостерігалось в межах незначних стиску-ючих напруг – до 2,5–3 МПа, або 5–6 % його міцності. Відносна деформація в цьому випадку становила $\varepsilon = 1,5 \times 10^{-3}$, що відповідає модулю деформації $G = \sigma/\varepsilon = 2,7 \times 10^3$ МПа – на порядок меншому, чим нормований залежно від класу модуль пружності бетону $(2-3) \times 10^4$ МПа. За більш високої стискаючої напруги близько 10 МПа (20 % міцності) протягом декількох хвилин деформація стабілізувалась і за подальшого збільшення напруги збільшувалась незначно. За такими напругою й часом її впливу деформація ще була зворотною і після зняття

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

напруги зникала, але не миттєво, тобто мала еластичну складову. Отже, за стискаючих напруг понад 5–6 % міцності цементного каменю на стиск початкову стадію деформування, що триває долі секунди, можна визначити як умовно пружну. Деформації бетону, тривалість яких складає хвилини або десятки хвилин, в нормативах визначаються як деформації швидкоплинної повзучості. На початковій ділянці кінетичної кривої деформування, яка на рис.8, а виглядає

вертикальною (до $\varepsilon = 2,7 \times 10^{-3}$), деформації протікали, як видно із рис.8, а, саме в ці дві стадії – умовно пружної деформації, що тривала долі секунди (відповідає ділянці 1 узагальненої кінетичної кривої деформування рис.8, б) і швидкоплинної повзучості, що тривала декілька хвилин або десятків хвилин (відповідає ділянці 2 рис.8, б). Відповідні їм відносні деформації – ε_{np} і ε_{um} .

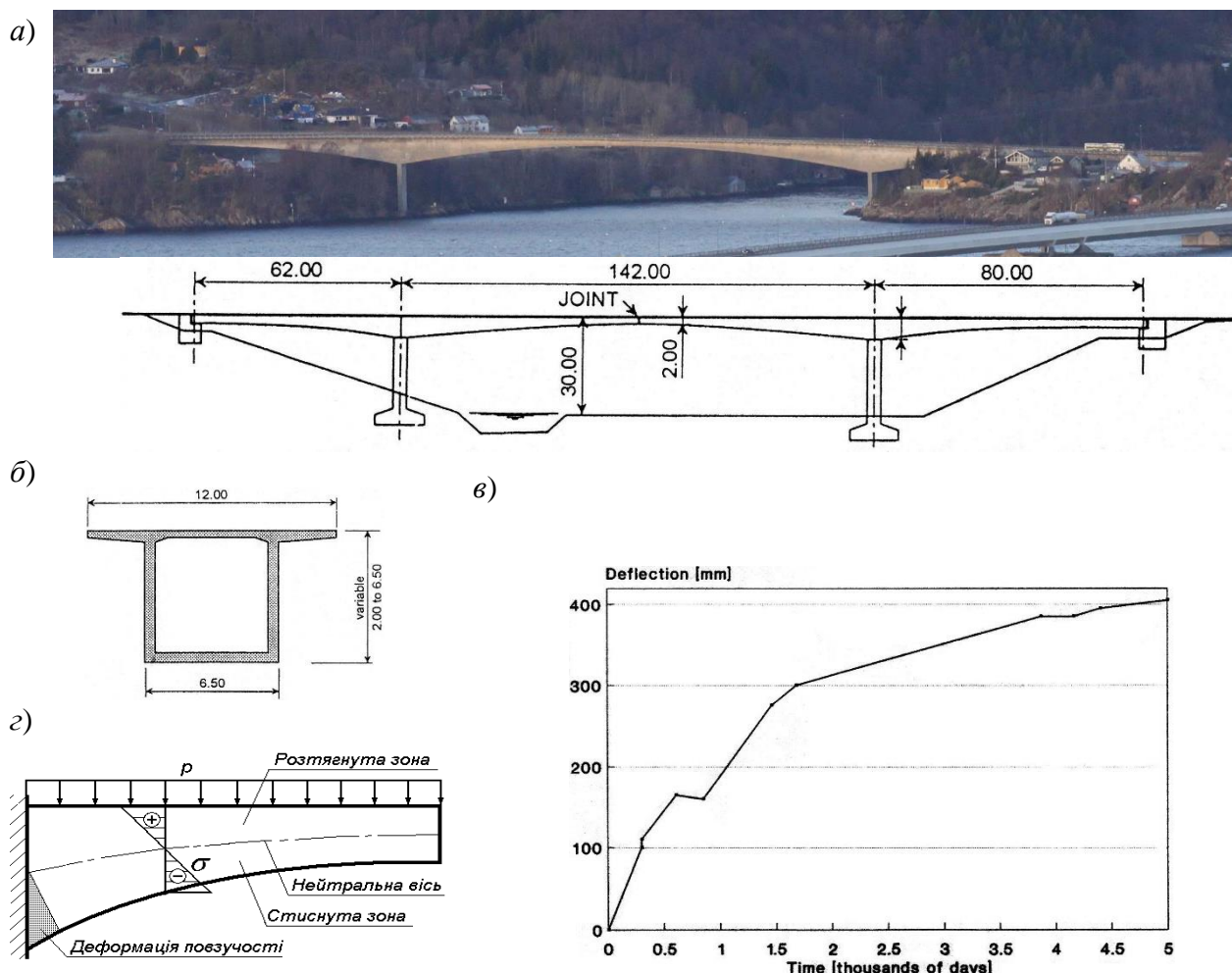


Рис.7 Залізобетонний міст Nordsund Bru (Норвегія). Рік побудови – 1971; довжина головного прогону – 142 м; конструкція – 2 Т-подібні рами з шарніром (with a hinge): а, б – фасад і поперечний переріз; в – діаграма розвитку прогину прогонової споруди (deflection, mm – мм) у часі (time, thousands of days – тис. діб); г – схема роботи прогонової споруди: p – навантаження; σ – нормальне напруження у перерізі: «-» – стискаюче; «+» – розтягувальне

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

За тривалого навантаження зразка постійним навантаженням 15,2 МПа деформації зростають спочатку інтенсивно, потім все більш повільно, як показано на кінетичній кривій деформування (рис.8, а). Відомо, що звичайна повзучість розвивається близько року [33] і спочатку протікає більш інтенсивно, потім уповільнюється. Характер деформування на найбільш криволінійній ділянці рис.8, а (десь до 180 діб) дає підставу вважати деформації на цій ділянці початковою більш інтенсивною стадією звичайної повзучості – звичайною нелінійною

повзучістю (відповідає ділянці 3 рис.8, б). Подальша ділянка графіку десь від 180 до 360 діб є вже майже прямою і відповідає стадії звичайної лінійної повзучості (ділянці 4 рис.8, б). Після 360 діб кут нахилу графіку ще зменшується і вже залишається незмінним до 900 діб та більше. Ця стадія і є доготривалою повзучістю, що відповідає ділянці 5 рис.8, б). Позначення відносних деформацій на стадіях звичайної (нелінійної та лінійної) і доготривалої повзучості – $\varepsilon_{зпн}$, $\varepsilon_{зп}$ і $\varepsilon_{дп}$, відповідно (рис.8, б).

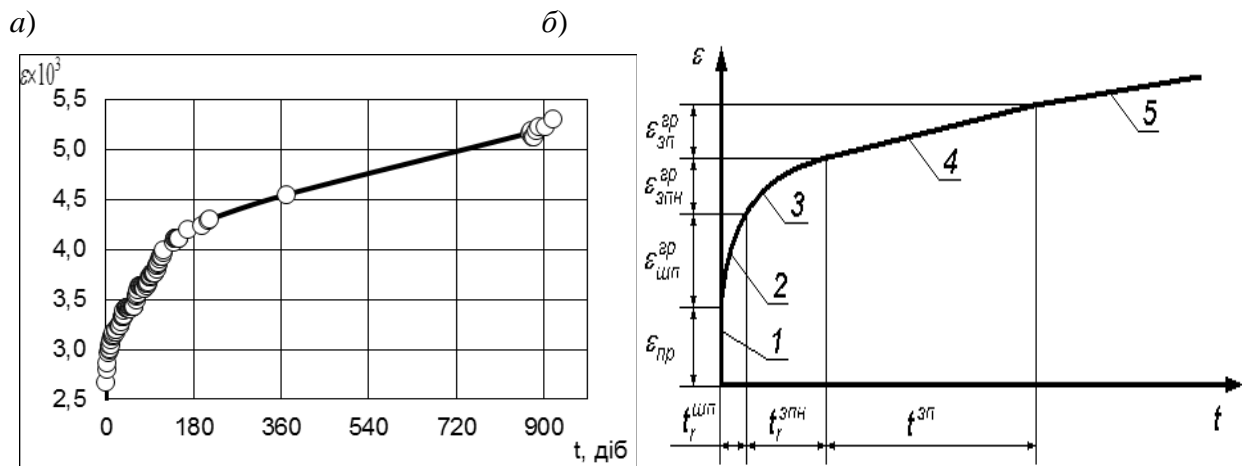


Рис.8 Кінетика тривалої деформації повзучості ε цементного каменю: а – зразка-призми 400×100×100 мм від стискуючого напруження 15,2 МПа; б – узагальнена кінетична крива деформування, стадії деформування: 1 – умовно пружної деформації; 2 – швидкоплинної повзучості; 3, 4 – звичайної повзучості – нелінійної (3) і лінійної (4); 5 – доготривалої повзучості

Механізми кожної стадії деформування, а також відповідні рівняння і схеми, що моделюють кінетику деформування на кожній із зазначених стадій і дозволяють визначати величину відносної деформації в будь-який момент

часу, наведені у табл.4. З урахуванням викладеного та графіків рис.8, феноменологічне рівняння повної граничної деформації $\varepsilon^{зп}$ матиме вигляд:

$$\varepsilon^{зп} = \varepsilon_{пр}^{зп} + \varepsilon_{шп}^{зп} + \varepsilon_{зпн}^{зп} + \varepsilon_{зп}^{зп} + \varepsilon_{дп}^{зп}, \quad (12)$$

де члени рівняння – граничні відносні деформації стадій деформування: $\varepsilon_{пр}^{зп}$ – умовно пружної;

$\varepsilon_{шп}^{зп}$ – швидкоплинної повзучості;

$\varepsilon_{зпн}^{зп}$ – звичайної повзучості нелінійної;

$\varepsilon_{зп}^{зп}$ – звичайної повзучості лінійної;

$\varepsilon_{дп}^{зп}$ – доготривалої повзучості.

Таким чином, встановлено, що у цементному камені бездобавочного портландцементу з В/Ц = 0,4 міцністю на

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стиск 50 МПа пружні деформації відбуваються за короткочасного навантаження стискаючою напругою не більше 2,5–3 МПа з модулем пружності близько $2,7 \times 10^3$ МПа, що на порядок менше модуля пружності бетону $(2-3) \times 10^4$ МПа. За більших напруг до 10 МПа деформація набуває незворотну складову, а її зворотна складова стає еластичною (пружною післядією). За напруг понад 2,5–3 МПа цементний камінь піддається повзучості – швидкоплинній, звичайній, довготривалій, гранична величина відносної деформації якої (сумарна) досягає $\varepsilon_{цк} = 6 \times 10^{-3}$.

Вплив складу та структури на властивості полідисперсних композиційних матеріалів, у т.ч. довготривалу повзучість бетону

Властивості бетону як композиційного матеріалу залежать від його структури. Із табл.1 видно, що бетон як композиційний матеріал складається із

компонентів, різних за хімічним складом і технологічним походженням, один з яких є матрицею (зв'язуючим), а інші – наповнювачами (заповнювачами, рис.1). Структуру бетону можна представити як багаторівневу, в якій матриця кожного рівня структури також є композиційним матеріалом (табл.1). Кожний рівень структури якісно і кількісно можна охарактеризувати структурними характеристиками, наведеними у табл.1. На макро- і мезорівні такими характеристиками є коефіцієнти розсушення: крупного заповнювача розчином α (відношення абсолютного об'єму цементно-піщаного розчину $V_{цпр}$ до об'єму порот у крупному заповнювачі $V_{пуч}^{ц}$ в 1 м³ бетону); дрібного заповнювача цементним тістом (каменем) μ (відношення абсолютного об'єму цементного тіста (каменя) $V_{цт}$ до об'єму порот у дрібному заповнювачі $V_{пуч}^n$ в 1 м³):

$$\alpha = \frac{V_{цпр}}{V_{пуч}^{ц}} = \frac{\frac{П}{\rho_{ісм}^n} + \frac{Ц}{\rho_{ісм}^ц} + \frac{В}{\rho^6}}{\frac{Щ}{\rho_{нас}^ц} \cdot Пус^{ц}}; \mu = \frac{V_{цт}}{V_{пуч}^n} = \frac{\frac{Ц}{\rho_{ісм}^ц} + \frac{В}{\rho^6}}{\frac{П}{\rho_{нас}^n} \cdot Пус^n}, \quad (19)$$

де $Щ, П, Ц, В$ – витрата щебеню, піску, цементу і води, відповідно, на 1 м³ бетону, кг;

$\rho_{ісм}^{ц}, \rho_{ісм}^n, \rho_{ісм}^ц, \rho^6$ – істинна густина щебеню, цементу, піску і густина води, кг/м³;

$\rho_{нас}^{ц}, Пус^{ц}$ – насипна густина, кг/м³ і поротність щебеню;

$\rho_{нас}^n, Пус^n$ – насипна густина, кг/м³ і поротність піску, відповідно.

Основні особливості структури бетону:

- на кожному структурному рівні матриця заповнює міжзернові поротності між структуроутворюючими елементами і розсуває їх (табл.1).

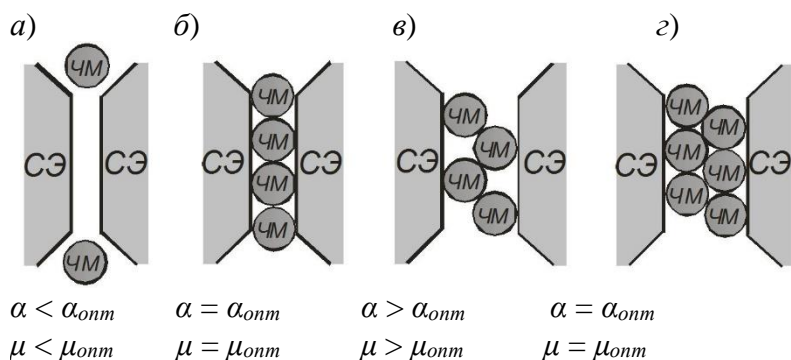
- характер упаковки часток матриці в

прошарках між структуроутворюючими елементами (рис.13) визначає фізико-механічні властивості бетону, особливо безнапірну водопроникність і довготривалу повзучість.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року



$\alpha < \alpha_{opt}$ $\alpha = \alpha_{opt}$ $\alpha > \alpha_{opt}$ $\alpha = \alpha_{opt}$
 $\mu < \mu_{opt}$ $\mu = \mu_{opt}$ $\mu > \mu_{opt}$ $\mu = \mu_{opt}$

Рис.13 Формування упаковки часток матриці ЧМ в прошарках між структуроутворюючими елементами СЭ: а, в – неоптимальна структура прошарку з нещільним укладанням ЧМ в прошарках між СЭ; б, з – оптимальна структура прошарку з найщільнішою упаковкою ЧМ між СЭ

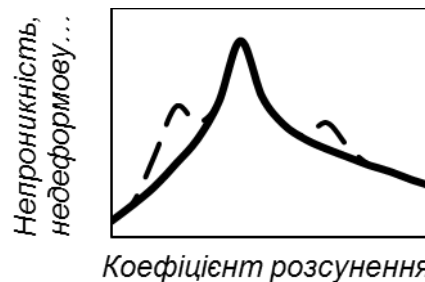


Рис.14 Загальний вигляд залежності непроникності, недеформовуваності та інших характеристик бетону від коефіцієнтів розсунення α і μ

За α (μ) < 1 розчин (цементне тісто або камінь) не заповнює всіх пустот між зернами крупного (дрібного) заповнювача. За α (μ) = 1 розчин (цементне тісто) заповнює всі пустоти між зернами крупного (дрібного) заповнювача, зерна дотикаються, прошарок матриці між ними не утворюється. За α (μ) > 1 розчин (цементне тісто) розсуває зерна крупного (дрібного) заповнювача. Очевидно, що для отримання високих показників фізико-механічних та фізичних властивостей бетону необхідне виконання останньої умови,

за якої між структуроутворюючими елементами кожного структурного рівня матеріалу утворюються прошарки матриці. Структура цього прошарку визначає властивості бетону, особливо фільтраційні та деформативні (рис.14). Найкращі показники властивостей відмічаються за найщільнішою упаковкою часток матриці в прошарку, якій відповідають оптимальні значення коефіцієнтів розсунення α_{opt} і μ_{opt} , а залежності властивостей від α і μ є екстремальними з максимумами, відповідними α_{opt} і μ_{opt} (рис.14).

$$\alpha_{opt} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d_n}{d_{цi}}\right)^3 - 1,1; \quad \mu_{opt} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d_{цi}}{d_n}\right)^3 - 1,1, \quad (20)$$

де $d_{цi}$, d_n , $d_{цi}$ – середній розмір визначальної фракції зерен крупного і дрібного заповнювача і часток цементу, відповідно, мм.

Бетони, в яких на всіх або частині рівнів структури структурні характеристики не відповідають оптимальним значенням, а структура має характер, що відповідає схемі рис.13, в, піддаються довготривалій повзучості – незворотній деформації, яка повільно розвивається при постійному стискаючому напруженні $\sigma = const$. Повзучість відбувається при стисненні бетону за рахунок витиснення часток

матриці із прошарків між структуроутворюючими елементами на кожному структурному рівні бетону, а також витиснення води із гідросилікатного гелю стиснутих зон конструкції та її міграції у розтягнуті зони (рис.10–12). Гранична відносна деформація довготривалої повзучості бетону ϵ_b визначається за (17) максимально можливим зближенням структуроутворюючих часток і досягненням фактичними величинами коефіцієнтів розсунення оптимальних значень.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Вплив довготривалої повзучості бетону на деформації конструкцій і довговічність за деформаціями

Для стиснутих конструкцій повзучість бетону призводить до зменшення їх довжини (висоти). Гранична абсолютна деформація конструкції від довготривалої повзучості бетону складе:

$$\Delta h = \varepsilon_b h. \quad (21)$$

У конструкціях, що знаходяться у складному напружено-деформованому стані, наприклад таких, що згинаються, повзучість відбувається у стиснутих зонах під дією стискуючих напруг. В розтягнутих зонах конструкцій, відповідно, може відбуватись розкриття тріщин. Схема деформування конструкції, що згинається, від довготривалої повзучості бетону наведена на рис.12. Для довгомірних конструкцій довжиною десятки метрів та тонкостінних конструкцій товщиною десятки міліметрів довготривала повзучість бетону може призвести до понаднормативних деформацій цих конструкцій. Величини і кінетика розвитку цих деформацій можуть бути визначена розрахунками методами будівельної механіки з урахуванням схем

рис.12, залежностей 12–18, 21 і подібних, наведених в публікаціях авторів.

Таким чином, розроблені моделі і рівняння дозволяють прогнозувати довговічність залізобетонних конструкцій за деформаціями або управляти довговічністю за деформаціями шляхом управління складом бетону.

Висновки

Розроблені основні положення колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки мінеральних в'язучих речовин і композиційних матеріалів на їх основі, зокрема, класифіковано їх як дисперсні системи і матеріали, встановлено поверхневі заряди і електроповерхневі потенціали їх часток, умови виникнення електрогетерогенних контактів між ними, розроблено основи теорії міцності й водостійкості штучного каменю, встановлено закономірності безнапірної водопроникності, довготривалої повзучості бетону, корозійних та електрокорозійних процесів в ньому. Встановлені відповідні закономірності та отримані рівняння, які запропоновано застосовувати для управління властивостями та довговічністю композиційних матеріалів і конструкцій із них.

Список використаних джерел

1. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Мчедлов-Петросян, О.П. Химия неорганических строительных материалов: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
3. Тейлор, Х. Химия цемента / Х.Тейлор; пер.с англ. А.И.Бойковой и Т.В.Кузнецовой. – Москва: Мир, 1996. – 560 с.
4. Рамачандран, В. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение / В.Рамачандран, Р.Фельдман, Дж.Бодуэн; пер.с англ. под ред.В.Б.Радинова. – Москва: Стройиздат, 1986. – 278 с.
5. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов / В.И.Бабушкин, Г.М.Матвеев, О.П.Мчедлов-Петросян; под ред. О.П.Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд., перераб.и доп. – Москва: Стройиздат, 1986. – 408 с.
6. Вознесенский, В.А. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А.Вознесенский, В.Н.Выровой, В.Я.Керш, Т.В.Ляшенко и др.; под ред. В.А.Вознесенского. – Київ: Будівельник, 1983. – 144 с.
7. Википедия [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.ru.wikipedia.org>

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

8. Плугин, А.А. Совершенствование состава и структуры бетона с учетом электроповерхностных свойств его составляющих для повышения прочности и стойкости изделий кольцевого сечения: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Защ.14.06.94. – Харьков: ХИСИ, 1994. – 245 с.
9. Плугин, А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дисс... д.х.н. – 02.00.11. – Защ.14.06.89. – Киев: ИКХХВ, 1989. – 282 с.
10. Плугин, А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы: Дисс... д.т.н. – 05.23.05. – Защ.18.10.2005. – Харьков: УкрГАЖТ, 2005. – 442 с.
11. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Л.В.Трикоз, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин; под ред.А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2011. – 331 с.
12. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.2. Теория твердения портландцемента / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин, О.В.Градобоев; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2012. – 224 с.
13. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин, О.В.Градобоев, О.С.Борзяк; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2012. – 288 с.
14. Костюк, Т.А. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов / Т.А.Костюк, Ал.А.Плугин, А.А.Плугин, В.А.Арутюнов, Н.Н.Партала, Ю.А.Суханова, Х.-Б.Фишер // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2014. – Вип.148. – Ч.2. – С.32–38.
15. Harcenko, I. Sandbeton für monolithischen Häuserbau am Polarkreis / I.Harcenko, A.Pantschenko, J.Stark, H.-B.Fischer // 16 Internationale Baustofftagung, 20–23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. – Band 1. – P.0033–0046.
16. Krelaus, R. Nanotechnologische Verfahren zur Bestimmung von Grenzflächenreaktionen bei mineralischen Bindemitteln und Zusatzstoffen / R.Krelaus, M.Schmidt, M.Gehrke, B.Middendorf // 16 Internationale Baustofftagung, 20–23 September 2006, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2006. – Band 1. – P.0455–0460.
17. Wild, S. Expansion Mechanism and Cementation in Cured PFA-Lime Composite / S.Wild, M.Naadi, G.Leng Ward // Advances in Cement Research. – 1990. – V.3. – No10. – P.55–74.
18. Trettin, R. Reactivity and Mechanism of Hydration of Cement Phases // Proc. of the 10th Internat. Congr. of the Chemistry of Cement. – Gothenburg: Inform Trycket. – 1997. – V.2. – 2ii050. – 8 p.
19. Плугин, А.А. Об электроповерхностном потенциале в твердеющих минеральных вяжущих // Вестник НТУ «ХПИ». – 2003. – Вып.15. – С.66–74.
20. Плугин, А.А. Об определении электроповерхностного потенциала в твердеющих минеральных вяжущих // Вестник НТУ «ХПИ». – 2004. – Вып.33. – С.66–74.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

21. Плагин А.Н., Плагин А.А. Коллоидно-химические аспекты прочности и водостойкости различных вяжущих и композиционных материалов // Proc.of 4th Intern. Conf. «Modern Building Materials, Structures and Techniques», Vilnius, Lithuania, May 10–13, 1995. – Vol.1. – Vilnius: Technika, 1995. – P.206–211.
22. Ребиндер, П.А. О механической прочности пористых дисперсных тел / П.А.Ребиндер, Е.Д.Щукин, Л.Я.Марголис // ДАН СССР. – 1964. – Т.154. – №3. – С.695–698.
23. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е.Шейкин, Ю.В.Чеховский, М.И.Бруссер. – Москва: Стройиздат, 1979. – 344 с.
24. Шумик, Д.В. Суперпластифицированная цементно-водная композиция для ремонта горных тоннелей: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Харьков: ХарГАЖТ, 2001. – 231 с.
25. Киреенко, И.А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов на стандартных и мелких песках. – Киев: Госстройиздат, 1961. – 80 с.
26. Кузнецова, Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. – Москва: Стройиздат, 1986. – 208 с.
27. Plugin, A. The Mechanism of Water and Ionic Permeability of Concrete / A.Plugin, I.Prokopova, S.Wild, A.Plugin // Proc. of the 10th Intern. Congr. of the Chemistry of Cement. – Goteborg: Inform Trycket, 1997. – V.4. – 4iv075. – 8pp.
28. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н.Алексеев, Ф.М.Иванов, С.Модры, П.Шисль. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.
29. Плагін, О.А. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них) / О.А.Плагін, О.С.Борзяк, В.Б.Мартінова, О.К.Халюшев; за ред. А.А.Плагіна і М.М.Зайченка. – Харків: Форт, 2013. – 300 с.
30. Vitek, J.L. Behaviour and Modelling in Serviceability Limit States Including Repeated and Sustained Loads: Contribution to the State of the Art Report / Czech Technical University. – Prague, 1996. – 35 pp.
31. Vitek, J.L. Excessive Deflections of Prestressed Concrete Bridges / J.L.Vitek, V.Kristek // Diagnosis of Concrete Structures: Proc. of the 2nd RILEM Intern. Confer. – Bratislava: Expertcentrum, 1996. – P.310–315.
32. Плагін, А.А. Понаднормативна довгочасна повзучість бетону в залізобетонній конструкції місткісної споруди / А.А.Плагін, А.М.Плагін, С.М.Кудренко, Д.А.Плагін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: Зб. наук. праць ХарДАЗТ. – Харків, 2000. – Вип.37. – С.32–44.
33. Улицкий, И.И. Теория и расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом длительных процессов. – Київ: Будівельник, 1967. – 345 с.

Плагін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 666.97

МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАРАНЕЕ ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Д-р техн. наук Л.И. Дворкин, д-р техн. наук О.Л. Дворкин

МЕТОДОЛОГИЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З НАПЕРЕД ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Д-р техн. наук Л.Й. Дворкін, д-р техн. наук О.Л. Дворкін

METHODOLOGY OF MULTIPARAMETER DESIGN OF CONSTRUCTION COMPOSITE MATERIALS WITH PREDETERMINED PROPERTIES

Doct. of techn. Sciences L. Dvorkin, doct. of techn. Sciences, O. Dvorkin

В статье развивается методология расчетного проектирования составов бетонов. Показана возможность существенного увеличения прогнозирующей способности зависимостей прочности бетона с использованием модифицированного цементно-водного отношения, учитывающего влияние минеральных добавок, а также объем вовлеченного воздуха. Показана возможность увеличения числа учитываемых факторов, влияющих на прочность бетона, при введении в расчетные зависимости мультипликативного коэффициента.

Ключевые слова: проектирование составов бетонов, цементно-водное отношение, прочность бетона, мультипликативный коэффициент.

У статті розвивається методологія розрахункового проектування складів бетонів. Показана можливість суттєвого збільшення прогнозуючої здатності залежностей міцності бетону з використанням модифікованого цементно-водного відношення, що враховує вплив мінеральних добавок, а також об'єм втягнутого повітря. Показана можливість збільшення числа врахованих факторів, що впливають на міцність бетону, при введенні в розрахункові залежності мультиплікативного коефіцієнта.

Ключові слова: проектування складів бетонів, цементно-водне відношення, міцність бетону, мультиплікативний коефіцієнт.

The methodology of calculated design of concrete mixtures is developed in the paper. The possibility of a significant increase in predictive ability of computational dependences of concrete strength using a modified cement-water ratio, taking into account the effect of mineral additives introduced into the concrete mixture and the amount of entrained air is shown. The possibility of increasing the number of considered factors affecting the strength of the concrete, when introduced the multiplicative factor into the design dependences, is also shown. A general scheme of multiparameter concrete mixtures design, suggesting the possibility of solving a number of problems to ensure the complex of design properties of concrete, is proposed. The essence and abilities of the computer program of concrete mixtures design and management at statistical control of concrete strength is shown. Algorithms for design of concrete mixtures for road and hydraulic concrete, steamed concrete, concrete for use in low and high temperatures, fine-grained and light-weight concrete, etc. are developed.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Keywords: design of concrete mixtures, cement-water ratio, concrete strength, multiplicative factor.

Введение. Проектирование составов композиционных строительных материалов с комплексом требуемых свойств является одной из главных задач их технологии. Эта задача решается путем сугубо экспериментального подбора или расчетно-экспериментальным методом. Типичным композиционным строительным материалом является цементный бетон.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В современной строительной практике широко используется расчетно-экспериментальный метод проектирования составов бетона с требуемой удобоукладываемостью бетонной смеси и прочностью бетона. Этот метод основан на ряде закономерностей и допущений: зависимости прочности бетона от водоцементного отношения (правило В/Ц), однозначной зависимости водопотребности бетонной смеси от показателя удобоукладываемости в определенном диапазоне В/Ц (правило постоянства водопотребности), зависимости расхода цемента от содержания песка в смеси заполнителей при постоянном В/Ц (правило оптимальной доли песка в смеси заполнителей).

Использование данных зависимостей позволяет, основываясь на методе абсолютных объемов найти с применением соответствующих таблиц, графиков или формул расходы материалов на 1 м³ бетонной смеси или на замес бетоносмесителя.

Анализ последних исследований и публикаций. В России, Украине и других странах СНГ для определения В/Ц, обеспечивающего прочность бетона при сжатии ($R_{сж}$), нашли распространение количественные зависимости, основанные на известной формуле Болломея, которые

позволяют учесть изменчивость исходных материалов и структуры бетона [1-4]:

$$R_{сж} = A R_{ц} (Ц/В - b), \quad (1)$$

где A , b – эмпирические коэффициенты;

$R_{ц}$ – активность цемента.

В странах Западной Европы, США и Канаде при высоком уровне стабильности качества исходных материалов и при отсутствии предварительных экспериментальных данных широко используются справочные рецептурные рекомендации в виде таблиц или графиков.

В современных условиях для обеспечения высокой надежности работы бетона в конструкциях и сооружениях возникает необходимость наряду с прочностью нормировать параметры и других свойств бетона (морозостойкости, водонепроницаемости, усадочных деформаций и др.). Решение этой задачи требует часто трудоемких и длительных лабораторных подборов составов бетона. Ориентировочно, как в европейских, так и американских стандартах ее предлагается решать с помощью ограничения В/Ц. В частности американский стандарт предлагает ограничивать В/Ц исходя из условий эксплуатации бетона [5].

Вместе с тем при всей важности В/Ц как одного из интегральных параметров качества бетона, можно утверждать, что не все показатели нормируемых свойств бетона однозначно связаны с В/Ц.

В общем виде задача проектирования составов бетона с комплексом различных свойств (многопараметрическое проектирование составов) сводится к следующей схеме (рис.1). В соответствии с этой схемой при нормировании различных свойств возможен интервал значений не только по В/Ц, но и по другим параметрам состава (по расходу воды, доле песка в смеси заполнителей, содержанию цемента, расходу вовлеченного воздуха) [3,4].

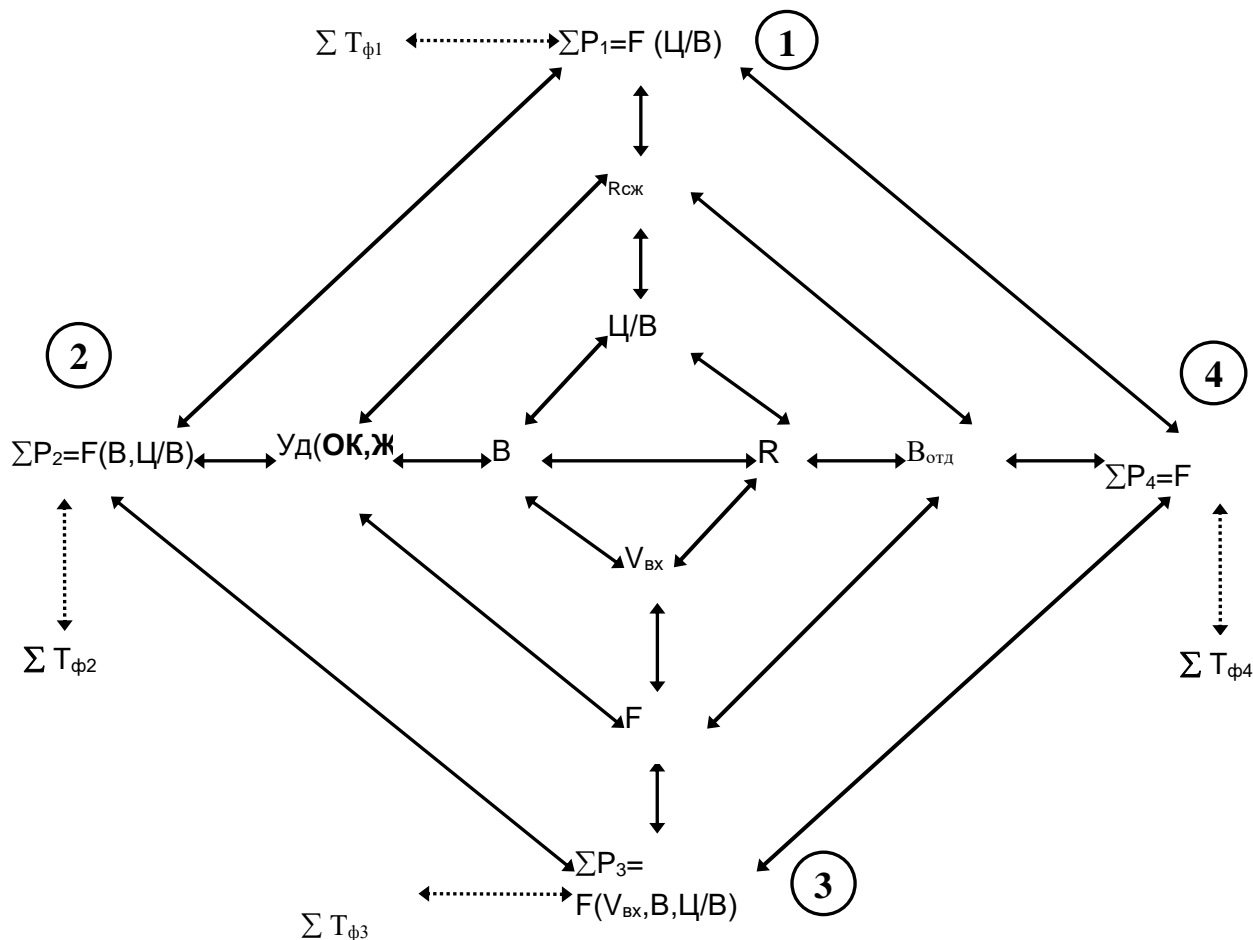


Рис. 1. Блок-схема многопараметрического проектирования составов бетона (ΣP – группа свойств бетона, связанных с определенными смесевыми параметрами, ΣT_{ϕ} – группа технологических факторов, влияющих на свойства бетона).

1. Определение прочности бетона $R_{сж}$ для достижения $\Sigma P_1 = f(\text{Ц/В})$ и требуемого Ц/В.
 2. Определение расхода воды (В) для достижения $\Sigma P_2 = f(\text{В, Ц/В})$.
 3. Определение объема вовлеченного воздуха ($V_{вх}$) для достижения $\Sigma P_3 = f(\text{V}_{вх}, \text{В, Ц/В})$.
 4. Определение параметра доли песка в смеси заполнителей (r) для достижения $\Sigma P_4 = f(r, \text{V}_{вх}, \text{В, Ц/В})$.
- F – морозостойкость бетона; $Уд$, $В_{отд}$ – соответственно удобоукладываемость и водоотделение бетонной смеси

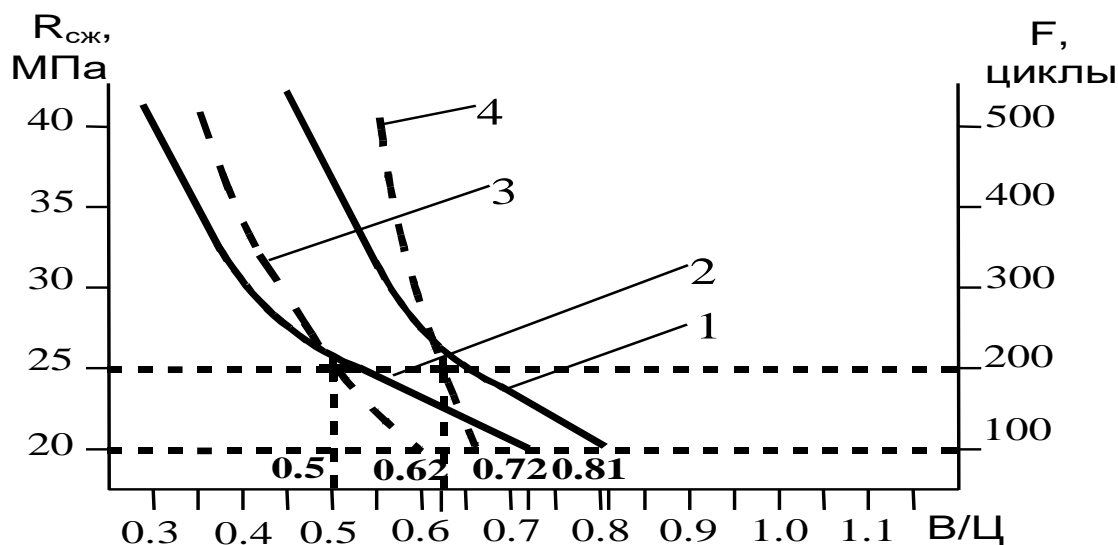


Рис.2. Изменение В/Ц в зависимости от заданных значений прочности ($R_{сж}$) и морозостойкости (F) бетона: **1.** $R_{сж}$, без вовлеченного воздуха; **2.** $R_{сж}$, 20 л. вовлеченного воздуха; **3.** F , без вовлеченного воздуха; **4.** F , 20 л. вовлеченного воздуха

Определение цели и задачи исследования.

Обеспечивать нормируемые свойства можно или выбирая минимально возможные значения В/Ц, расхода воды и т.д. или с помощью специальных технологических приемов достигать некоторые компромиссные значения параметров состава бетона, обеспечивающих экономию ресурсов. В последнем случае выполняется оптимизация состава бетона. Например (рис.2), для обеспечения прочности бетона при сжатии не менее 20 МПа и морозостойкости не менее F200 необходимо принять В/Ц не более 0,5. При введении воздухововлекающей добавки (2% вовлеченного воздуха) для обеспечения указанных требований можно увеличить В/Ц до 0,62.

Все задачи многопараметрического проектирования составов бетона можно разделить на два типа:

1. рецептурные задачи, заключающиеся в определении удельных расходов компонентов, обеспечивающих нормируемый комплекс свойств бетона;

2. рецептурно-технологические задачи, заключающиеся в определении наряду с удельными расходами компонентов значений тех или иных технологических факторов, характеризующих условия получения и твердения бетонной смеси и бетона.

Основная часть исследования.

Для многопараметрического проектирования составов бетона удобно использование комплекса расчетных зависимостей, связывающих показатели соответствующих свойств и параметры состава.

Для более полного учета параметров состава, технологии изготовления и твердения бетона возможно увеличение прогнозирующей способности известных расчетных зависимостей с помощью введения мультипликативных коэффициентов, интегрирующих влияние ряда факторов (учитывающих условия твердения, влияние химических добавок и т.д.) и использования правила "модифицированного (приведенного)" Ц/В [3,4].

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Выражение мультипликативного коэффициента ρA_i можно представить в виде:

$$\rho A_i = A A_1 \dots A_i \dots A_n, \quad (2)$$

где A_i – коэффициент, учитывающий дополнительное влияние на значение прочности i -го фактора ($i=1 \dots n$).

Как известно, зависимость прочности бетона от В/Ц (правило В/Ц) справедливо при определенных ограничениях для тяжелых бетонов и не учитывает пористость и другие особенности заполнителей [2]. Исходя из общей физической гипотезы о решающем влиянии на прочность бетона отношения объема гидратированного цемента к общему объему пор, нами предложена зависимость (правило), констатирующая однозначную связь прочности бетона с "модифицированным Ц/В" $(\text{Ц/В})_{\text{пр}}$ (правило "модифицированного Ц/В"), учитывающее наряду с цементно-водным отношением влияние объема пор обусловленных заполнителями и вовлеченным воздухом, а также возможность частичной замены цемента активными минеральными добавками:

$$(\text{Ц/В})_{\text{пр}} = \frac{\text{Ц} + K_{\text{ц,э}} \text{Д}}{\text{В} + \Pi_3 V_3 + V_{\text{вх}}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{вх}}$ – объем воздуха, находящийся в бетонной смеси;

Д – расход минеральной добавки, кг/м^3 ;

$K_{\text{ц,э}}$ – коэффициент цементирующей эффективности или "цементный эквивалент" 1 кг добавки;

Π_3 – пористость заполнителя; V_3 – абсолютный объем пористого заполнителя, л/м^3 .

Однозначная связь прочности бетона с "модифицированным Ц/В" справедлива как для тяжелых, так и легких бетонов, а также бетонов с активными добавками и позволяет выполнять расчет их составов по физически обоснованным алгоритмам.

Для определения Ц/В, обеспечивающего прочность бетона в 28-суточном возрасте, удобно использовать

общую формулу прочности бетона, учитывающую мультипликативный коэффициент ρA_i и выражение "модифицированного Ц/В":

$$R_{\text{сж}} = \rho A_i R_{\text{ц}} \left(\frac{\text{Ц} + K_{\text{ц,э}} \text{Д}}{\text{В} + V_{\text{вх}}} - 0,5 \right). \quad (4)$$

Обычная технологическая информация позволяет учесть в мультипликативном коэффициенте до 2...3 дополнительных коэффициентов A_i .

На основе известных в бетоноведении, а также модифицированных и новых расчетных зависимостей предложенных нами, разработаны алгоритмы проектирования составов бетонов для дорожного и гидротехнического строительства, пропариваемых бетонов и бетонов для использования в условиях низких и повышенных температур, бетонов с активными минеральными добавками и мелкозернистых бетонов, легких бетонов [3,4].

Решение задач многопараметрического проектирования составов бетона целесообразно выполнять с помощью набора компьютерных программ, позволяющих рассчитывать базовые составы бетона, корректировать их с учетом производственной информации, проводить статистический контроль прочности и других нормируемых свойств бетона с построением технологических карт и решать ряд смежных задач, связанных с материально-техническим обеспечением производства и учетом расходуемых материалов.

Нами разработана компьютерная программа проектирования и управления составами бетонных смесей, которая позволяет проектировать базовые составы бетона, проводить статистический контроль качества бетона с построением технологических (контрольных) карт и корректирование составов бетона при изменении характеристик исходных материалов, а также недопустимых

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

колебаниях прочности бетона и подвижности бетонной смеси.

Предельные значения, допускаемые техническими условиями

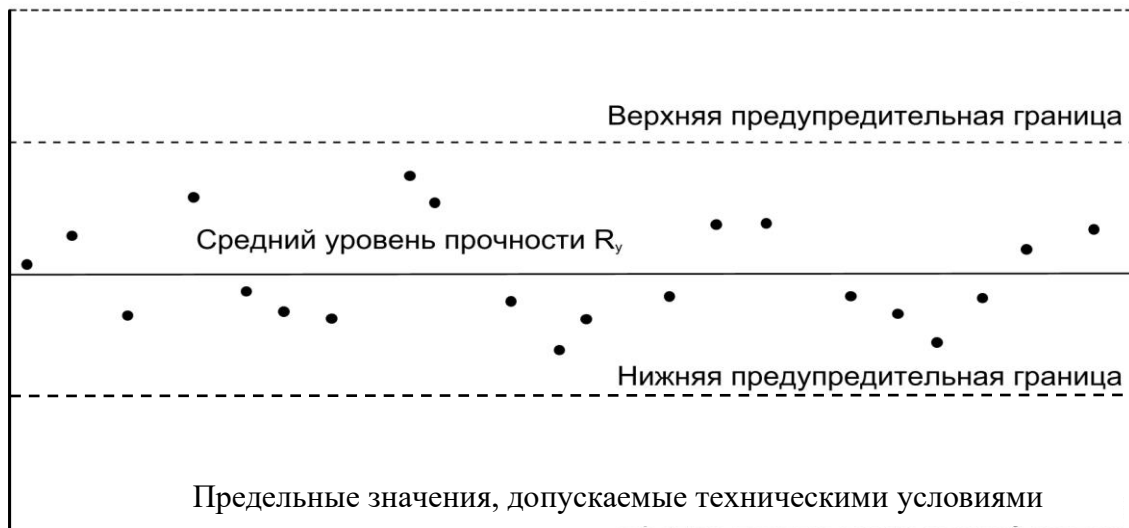


Рис.3. Общий вид контрольной карты при статистическом контроле прочности бетона

В качестве контролируемых параметров для построения технологической карты принимаются средние значения фактической прочности бетона на сжатие в партии, определенные по результатам испытания проб.

Статистический контроль прочности бетона проводится в соответствии с действующими нормативно-методическими руководствами. Для построения технологической карты (рис.3) рассчитывают исходные статистические параметры на текущий анализируемый статистический период: коэффициенты вариации, минимально допустимое значение прочности, средний уровень прочности, верхнюю и нижнюю предупредительные границы прочности.

Выход фактической прочности бетона в зону между нижней предупредительной границей и минимально допустимой прочностью (предельные значения, допускаемые техническими условиями) или при выходе фактической прочности за минимально допустимые значения может являться основанием для корректирования

составов и принятия мер к выявлению и устранению причин, вызывающих падение прочности.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.

1. Существенное увеличение «разрешающей способности» расчетных зависимостей прочности бетона достигается использованием зависимостей, связывающих прочность бетона с модифицированным («приведенным») цементно-водным отношением. Увеличение числа учитываемых факторов, влияющих на прочность бетона, достигается также введением мультипликативного коэффициента в расчетные формулы прочности.

2. Приведена общая схема многопараметрического проектирования составов бетона, позволяющая при использовании комплекса соответствующих расчетных зависимостей, решать ряд задач проектирования составов бетона различных видов с комплексом требуемых проектных параметров.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Список использованных источников

1. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. -М.: Стройиздат,1979. – 102 с.
2. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. - М.: Стройиздат, 1975. – 272 с.
3. Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона. (Основы теории и методологии). – Ровно: Изд-во УГУВХП, 2003. – 265 с.
4. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Проектирование составов бетона с заданными свойствами. - Ровно, РГТУ, 1999.-202 с.
5. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.-Detroit, 1980.- 150 p.

Дворкин Леонид Иосифович д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных изделий и материаловедения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования. Тел.: (0362) 400-520. E-mail: dvorkin.leonid@gmail.com

Дворкин Олег Леонидович д-р техн. наук, профессор кафедры технологии строительных изделий и материаловедения, Национальный университет водного хозяйства и природопользования. Тел.: (0362) 23-21-32. E-mail: dvorkin-oleg@mail.ru

Dvorkin Leonid Iosifovich d-r science, professor, Head of Technology of Building Elements and Material Science department, National University of Water Management and Nature Resources Use Tel.: (0362) 400-520. E-mail: dvorkin.leonid@gmail.com

Dvorkin Oleg Leonidovich d-r science, professor, Technology of Building Elements and Material Science department, National University of Water Management and Nature Resources Use Tel.: (0362) 23-21-32. E-mail: dvorkin-oleg@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 691.3

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРСНИХ РЕЧОВИН ПРИ ОТРИМАННІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Д-ри техн. наук К.К. Пушкарьова, Л.Й. Дворкін, А.А. Пługін, канд. хім. наук О.С. Кагановський, О.В. Градобоев, канд. техн. наук О.А. Пługін

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСПЕРС-НЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИ-ЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТА-ЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Д-ра техн. наук Е.К. Пушкарева, Л.И. Дворкин, А.А. Пługин, канд. хім. наук А.С. Кагановский, О.В. Градобоев, канд. техн. наук Ал.А. Пługин

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DISPERSED SUBSTANCES UPON OF BUILDING COMPOSITE MATERIALS WITH IMPROVED PERFORMANCE PROPERTIES

Dsc K.K. Pushkariova, Dsc L.I. Dvorkin, Dsc A.A. Plugin, Ph.D. O.S. Kaganovskiy, O.V. Gradoboev, Ph.D. O.A. Plugin

Розроблено нові принципи і технологічні аспекти використання дисперсних речовин, у тому числі техногенного походження, при отриманні будівельних композиційних матеріалів з покращеними експлуатаційними властивостями, зокрема: розроблено фізико-хімічні основи композиційної побудови малоклінкерних золо- та шлакоцементних в'язучих систем,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

які не поступаються за своїми властивостями портландцементам; розроблено принципи і технологічні аспекти виробництва екологічно безпечних конкурентоспроможних виробів на основі портландцементу і волокнистих матеріалів; запропоновані нові методики, що включають визначення електроповерхневих властивостей волокнистих матеріалів, пігментів і їх здатність утворювати електрогетерогенні контакти з продуктами гідратації цементу тощо.

Ключові слова: дисперсні речовини, мікрокремнезем, зола-винесення, метакаолін, суперпластифікатори, синергетичний ефект

Разработаны новые принципы и технологические аспекты использования дисперсных веществ, в том числе техногенного происхождения, при получении строительных композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами, в частности: разработаны физико-химические основы композиционного построения малоклинкерных золо- и шлакоцементные вяжущих систем, не уступающих по своим свойствам портландцементам; разработаны принципы и технологические аспекты производства экологически безопасных конкурентоспособных изделий на основе портландцемента и волокнистых материалов; предложены новые методики, включающие определение электроповерхностных свойств волокнистых материалов, пигментов и их способность образовывать электрогетерогенные контакты с продуктами гидратации цемента и т.п.

Ключевые слова: дисперсные вещества, микрокремнезем, зола-унос, метакаолин, суперпластификаторы, синергетический эффект

A new approach and technological aspects using of dispersed substances are developed, including technogenic origin (ash, slag, microsilica, etc.), in the preparation of composite building materials with enhanced operating properties, in particular:

- it found that during the fine grinding of binders with ash and slag in the presence of complex additives-activators which contain a new superplasticizers, intensifier of grinding, accelerators of hardening, achieved a substantial synergistic effect, providing enhancement of their activity;*
- the physical and chemical bases of composite building of binding systems with ash, slag and cement with a small amount of clinker. These systems are not inferior by their properties to a portlandcement, and are provided by using of sulfate, siliceous additives and superplasticizers formation as a part of new substances mainly of solid solutions of hydrosulphoalumosilicate composition and low basis calcium hydrosilicates;*
- the principles and technological aspects of the production of environmentally safe roofing competitive products based on portlandcement and fibrous materials were developed; there are proposed new methods which include determining of electro-surface properties of fibrous materials, pigments, and their ability to form electro-heterogeneous contacts with cement hydration products; there are also proposed the methods of increasing of service life including light fastness, biological stability of products due to their volume pigmentation, injection of nano-dispersed silver compounds and the like.*

Keywords: disperse substances, microsilica, fly ash, metakaolin, superplasticizers, synergistic-effect.

Вступ

Одним з ефективних шляхів енерго- та ресурсозбереження при виготовленні БКМ та покращенні їх будівельно-технічних властивостей є введення дисперсних мінеральних наповнювачів, в якості яких

доцільно застосовувати різноманітні матеріали техногенного походження (золи, шлаки, пил-винесення, відходи каменеподрібнення тощо).

Мета дослідження – розробити основи теорії впливу мінеральних наповнювачів на

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

структуру і синтез будівельно-технічних властивостей у прив'язці до найбільш характерних і поширених представників цієї групи матеріалів - цементних бетонів і розчинів [1].

Результати теоретичних та експериментальних досліджень

Формування структури цементних будівельних композиційних матеріалів (БКМ) – це результат сумісного протікання гідрато- і структуроутворення в цементному тісті, бетонній та розчиновій суміші, послідовний перехід від коагуляційної структури до утворення просторового кристалічного каркасу [2]. Для підвищення міцності структури наповнених цементних БКМ на кінцевій стадії її формування необхідно досягнути оптимальної концентрації дисперсної фази, а за умов певної дисперсності частинок – також граничної упаковки і ущільнення системи. При замішуванні наповнених сумішей водою частинки наповнювача і цементу в просторовій структурній гратці фіксуються за допомогою коагуляційних контактів. Для структур глобулярного типу міцність контактів R залежить від ряду факторів:

$$R = \nu f(F_p; \varphi; S_{num}^2), \quad (1)$$

де ν – постійна хімічної взаємодії;

F_p – результативна сила взаємодії між частинками;

φ – ступінь наповнення;

$S_{пит}$ – питома поверхня частинок, що беруть участь у взаємодії.

Міцність наповненої цементної системи – результат синтезу процесів хімічної, фізико-хімічної, фізико-механічної взаємодії, в яких наповнювач приймає найактивнішу участь [3].

Характеризуючись високою питомою поверхнею, наповнювачі, поряд з прямою хімічною взаємодією, впливають на фізико-хімічні процеси на поверхні поділу фаз. Під час утворення конденсаційно-кристалізаційної структури відбувається

формування епітаксіальних контактів між новоутвореннями і зернами наповнювача.

У відповідності з вченням Гіббса-Фольмера, енергія утворення зародків кристалів значно зменшується при наявності центрів кристалізації, якими можуть служити частинки наповнювача. Вірогідність довільного утворення зародків кристалів b_k може бути виражена рівнянням :

$$b_k = e^{-\frac{\Delta W}{KT}}, \quad (2)$$

в якому

$$\Delta W = -\frac{3}{4}\pi r^3(Q\Delta T/T) + 4\pi r^3\sigma_{m.p}, \quad (3)$$

де ΔW – зміна вільної поверхневої енергії між твердою і рідкою фазами;

r – радіус частинок, що беруть участь у формуванні кристалу;

K – стала Больцмана;

T – температура;

Q – прихована теплота кристалізації;

ΔT – різниця температур при переохолодженні;

$\sigma_{т.р.}$ – поверхневий натяг на межі «кристал-рідка фаза»;

t – час.

Крім того, зменшуючи ΔW за рахунок енергії поверхневого розділу, наповнювач суттєво прискорює кристалізацію новоутворень. З рівняння (3) випливає, що в умовах тепловологої обробки цементні системи, що містять активні наповнювачі, дають більший ефект, ніж при твердінні в нормальних умовах [1; 4].

Поряд з конструктивним, можливий і деструктивний вплив наповнювача [5]. У випадку, якщо параметри наповнення виходять за межі оптимуму, у всьому об'ємі цементного каменю, або на окремих його ділянках, виникають напруження розтягу:

$$\Delta R_m = 0,5\alpha\Delta hR_m / (\varepsilon_m L), \quad (4)$$

де α – ступінь гідратації в'язучої речовини;

Δh – товщина шару з декількох молекул, що розташовані між кристалами і беруть участь у добудові кристалу,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

R_m – міцність вільного кристалу;

ϵ_m – відносна деформація;

L – розмір кристалу.

Таким чином, при надлишку високодисперсного наповнювача виникають ділянки самонапруження, що при зростанні кристалів може призвести до утворення тріщин та інших порушень однорідності мікроструктури [6].

На макрорівні наповнювач повинен забезпечити максимальну адгезійну міцність між цементним тістом і заповнювачем, максимальну когезійну міцність цементної матриці. При цьому ступінь наповнення повинен бути таким, щоб на початковій стадії формування структури були забезпечені задані реологічні параметри суміші [1; 7].

Міцність контактної зони R_k є основним структурним показником, який визначає міцність БКМ. Основним параметром, що характеризує R_k , прийнято вважати товщину прошарку цементного каменю $\delta_{ц.к.}$, формування якого під впливом енергетичних полів поверхні і хіміко-мінералогічного складу наповнювача протікає інакше, ніж в об'ємі. Оптимальна товщина $\delta_{ц.к.}$ визначається за умови забезпечення максимальної об'ємної концентрації каркасу з частинок наповнювача при одночасному виконанні вимог до реологічних властивостей і міцності. Зменшення міжзернових відстаней в розчинах на кварцовому піску за рахунок введення дисперсного наповнювача з 210 до 30 мкм дозволяє у 1,5...2 рази збільшити міцність цементного каменю [2; 8].

Суттєве посилення структуруючої ролі мінеральних наповнювачів БКМ досягається при їх активації. Під активацією наповнювачів розуміють сукупність

технологічних прийомів, спрямованих на підвищення їх активності. Активність наповнювачів характеризується їх здатністю як до хімічного, так і фізико-хімічного впливу на процеси формування штучного каменю. Хімічна активність наповнювачів у більшості випадків пов'язана з їх пуцолановою природою й достатньо добре вивчена. Значно менше вивчена здатність наповнювачів брати участь у фізико-хімічних та фізико-механічних процесах організації структури цементного каменю, розчинів та бетонів.

До основних досліджених способів активації наповнювачів відносяться подрібнення (*механічний спосіб*) і модифікування поверхні частинок мінеральними або органічними добавками (*хімічний спосіб*). Перспективним можна вважати комбінацію обох способів (*механохімічний спосіб*).

Аналіз механізмів контактних взаємодій в наповнених цементних системах дозволяє намітити шляхи активації наповнювачів з метою посилення їх адгезії до зв'язуючої речовини та підвищення структуроутворюючої ролі. При виборі наповнювачів та визначенні шляхів їх активації бажано прагнути до утворення хімічно нерівноважних систем з високою адгезійною міцністю [2; 9].

Для досягнення високої адгезійної міцності важливо забезпечити необхідне змочування наповнювача зв'язуючою речовиною. Ефективним шляхом зменшення міжфазної поверхневої енергії і покращення змочення є обробка наповнювачів поверхнево-активною речовиною (ПАР). Зменшення міжфазної поверхневої енергії при створенні адсорбційно-активного середовища визначається рівнянням:

$$KT \int_0^c n_s(c) d \ln c, \quad (5)$$

де $\Delta W_{т.р}$ – різниця міжфазної поверхневої енергії без ПАР і в присутності ПАР з концентрацією c ;

n_s – адсорбція, яка визначається числом молекул ПАР, які адсорбувалися на 1 см² поверхні поділу фаз;

K – постійна Больцмана;

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

T – абсолютна температура, $^{\circ}\text{K}$.

При виборі ПАР потрібно враховувати хімічну природу як наповнювача, так і зв'язуючої речовини. Зокрема, якщо наповнювачами служать солі лужноземельних металів (карбонати, силікати і алюмінати кальцію і магнію), для цементних та інших систем з гідрофільною в'язучою речовиною доцільно застосування аніоноактивні ПАР. Необхідною умовою ефективності ПАР є їх здатність до хемосорбційної взаємодії з поверхнею частинок наповнювача. В загальному випадку для мінеральних наповнювачів кислотного характеру найбільш ефективними є ПАР катіоноактивного типу, а основного – аніоноактивні. Вплив адсорбційно-активного середовища росте з підвищенням дисперсності наповнювача і його концентрації, що пов'язано зі збільшенням міжфазної поверхні і, відповідно, із надлишковою поверхневою енергією.

Одним із шляхів активації наповнювачів є створення оптимального мікрорельєфу їх поверхні. Збільшення шорсткості наповнювача не тільки сприяє механічному зчепленню з в'язучою речовиною, але і підвищує площу поверхні контакту. Збільшення адгезійної міцності в цьому випадку проходить і за рахунок покращення умов змочування. Відповідно відношенню Вентцеля-Дерягіна кут змочування на реальній твердій поверхні θ' залежить від коефіцієнта шорсткості, k – відношення дійсної площі поверхні до уявної:

$$\cos\theta' = k \cos\theta, \quad (6)$$

Змочувальна рідина розтікається по твердій поверхні за умови:

$$k \cos\theta > 1. \quad (7)$$

Форма частинок і рельєф їх поверхні залежить від типу помольних агрегатів і природи мінералів. Так, при грубому подрібненні піску у вібромліні крупні зерна виходять округленими, а дрібні – більш кутастими. При подрібненні у кульовому

млині до розміру частинок 0,15...0,6 мм переважають круглі зерна.

Поряд зі шляхами активації адгезійної взаємодії наповнювачів із в'язучими речовинами, безсумнівний інтерес представляють і способи активації наповнювачів з метою інтенсифікації епітаксильної кристалізації в'язучої речовини. Відзначено, наприклад, стосовно до цементних систем, що наповнювачі є значно кращими підкладками для утворення зародків гідратних новоутворень, ніж частинки вихідного цементу. Двомірні зародки гідратів міцно фіксуються на поверхні наповнювача та інтенсифікують нарощування структури цементного каменю у напрямку, перпендикулярному поверхні частинок наповнювача.

При виборі способу активації наповнювачів необхідно враховувати порядок з ефектом підвищення їх активності, технологічність та енергоємність процесу обробки порошкоподібного компонента, можливу продуктивність агрегатів, керованість і стабільність параметрів, що досягаються [2; 10].

Роль найбільш активних наповнювачів можуть виконувати ультрадисперсні порошки, наприклад, *мікрокремнезем* (МК), що вловлюється при виробництві феросплавів. Ефективність МК як активного наповнювача бетонів підтверджена роботами як зарубіжних, так і вітчизняних дослідників. Ці роботи виконані, як правило, для бетонів з відносно високими витратами цементу. Велика питома поверхня (до 2000 $\text{m}^2/\text{кг}$) у поєднанні з аморфізованою структурою частинок кремнезему, наявністю таких домішок, як карбід кремнію, обумовлюють високу реакційну здатність цих ультрадисперсних матеріалів порівняно з іншими наповнювачами цементних систем.

Вміст МК в бетонах рекомендується у кількості 20...50 $\text{кг}/\text{м}^3$. Більший вміст МК призводить до різкого збільшення водопотреби бетонних сумішей, необхідності підвищення кількості

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

суперпластифікаторів, зниження тріщиностійкості бетонів.

Замінником мікрокремнезему може бути *високоактивний метакаолін*. В якості одного зі способів активації мінеральних наповнювачів і, зокрема, золи-винесення можна розглядати суміщення їх з такими високоактивними ультрадисперсними продуктами як мікрокремнеземи і метакаолін [3].

Щорічно в світі утворюється близько 370 млн тонн золошлакових відходів, в тому числі в Україні – 10 млн тонн і ще у відвалах знаходиться – 50 млн т. Вирішення екологічних та економічних проблем України, пов'язаних з використанням відходів енергетики у будівництві, потребує розробки ефективних технологій їх переробки, що включають не тільки методи їх зв'язування різноманітними видами в'язучих речовин, але й активацію інертної складової відходів, щоб забезпечити максимальний ступінь їх утилізації та створити передумови для отримання якісних будівельних матеріалів. Активація золошлакових відходів направлена на отримання високонаповнених золомістких в'язучих систем та бетонів на їх основі [11; 12].

Ефективні способи введення значної кількості золошлакових відходів до складу різних видів будівельних матеріалів, в том числі бетонних сумішей, можуть бути реалізовані шляхом використання сучасних технологій отримання в'язучих низької водопотреби, тонкомелених цементів (ТМЦ) та інтенсивної технології роздільного приготування складових бетонної суміші (ІРТ). Вибір технології утилізації зазначених відходів повинен здійснюватись з урахуванням економічного, екологічного та технічного факторів [2; 3].

Кількість золошлакових відходів, що використовується у складі в'язучої речовини та бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації механічним, хімічним, термічним та комплексним (гідро-механічним,

механохімічним, електромеханохімічним) способами. Вибір способу активації залежить від хіміко-мінералогічного складу золи, способу її отримання, а також від складу в'язучої системи, до якої цю золу додають. Активація золи сприяє практичній реалізації досить популярної концепції «HVFA», або «High Volume Fly Ash Concrete» («Високонаповнений бетон на основі золи-винесення»). Ця концепція передбачає широке впровадження цементів, у складі яких вміст золи перевищує 30...40%, що відповідає ідеям Концепції сталого розвитку та Кіотському протоколу. Такий підхід дозволяє по-іншому оцінити роль золи у цементній системі, розглядаючи золу не як «допоміжний», а як «базовий» сировинний компонент [1–4].

Встановлено, що для хімічної активації кислотої золи як з технологічної, так і з економічної точок зору, найбільш придатним є лужноземельно-сульфатний метод, причому при такій активації додатково потрібно використовувати пуцоланову та пластифікуючу добавки. Введення пуцоланової добавки необхідно для формування довговічного штучного каменю шляхом попередження та запобігання протіканню процесів утворення вторинного еtringіту або таумаситу. Додаткове використання пластифікуючої добавки (враховуючи відносно велику кількість використаної золи у складі в'язучої системи) необхідно як для регулювання реологічних властивостей отриманих бетонних сумішей, так і кінетики набору міцності бетону на ранніх етапах твердіння [2; 3].

Вибір пластифікуючої добавки здійснюється з урахуванням хімічного складу як базової в'язучої речовини, так і мінеральних добавок, введених додатково. Так, при використанні сульфатної або лужноземельносульфатної активації золи краще застосовувати сульфатмісткі пластифікуючі добавки, наприклад, добавки суперпластифікаторів із групи нафталін-формальдегідів.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

З урахуванням вищенаведеної інформації були розроблені фізико-хімічні основи отримання золонаповнених в'язучих систем на основі кислій золи, що передбачали одночасне введення сульфатної, пуцоланової та пластифікуючої добавок. В'язучі композиції були підібрані так, щоб кількість портландцементу не перевищувала 20 мас. %. Як сульфатний компонент було використано нерозчинний ангідрид, а як пуцоланову добавку – мікрокремнезем або метакаолін [3].

За допомогою фізико-хімічних методів досліджень встановлено, що новоутворення модифікованих в'язучих композицій на ранніх етапах гідратації представлені переважно еtringітом та низькоосновними гідросилікатами кальцію. Кінетика набору міцності на пізніх етапах твердіння стабілізується за рахунок синтезу у складі продуктів гідратації термодинамічно стабільних сполук, представлених низькоосновними гідросилікатами кальцію, модифікованими гідросилікатами кальцію типу епістільбіту та гідрогранатами.

Слід відмітити позитивний вплив мікрокремнезему на експлуатаційні властивості отриманого штучного каменю, але при цьому мають місце деякі технологічні труднощі, пов'язані з введенням цієї добавки до бетонних сумішей та підвищенням собівартості композицій. Для усунення цих недоліків видається доцільним у якості кремнеземистої добавки на заміну мікрокремнезему використовувати метакаолін, який має достатньо високу пуцоланову активність і є більш технологічним та менш дефіцитним продуктом на сучасному будівельному ринку.

Результати дослідження поверхні сколу штучного каменю за допомогою електронної мікроскопії свідчать про залежність форми утворених кристалів еtringіту від наявності у складі в'язучої речовини кремнеземистої добавки та її виду (рис.1). При модифікації золоцементних композицій сульфатом кальцію на ранніх етапах твердіння

утворюються короткі кристали еtringіту, середня довжина яких складає 5 μm (рис. 1, а–в). В разі модифікації золоцементних композицій сульфатними та кремнеземистими добавками одночасно середня довжина утворених кристалів еtringіту значно зростає і досягає 20...30 мкм (рис.1, г–з).

На базі запропонованих золоцементних в'язучих речовин із підвищеним вмістом золи (до 65%) запроєктовано склад бетонних сумішей, що забезпечують отримання бетонів класу В40, пористість яких не перевищує 4%, а водопоглинання становить до 5%. Вивчено довговічність розроблених складів бетонів шляхом дослідження їхньої кінетики набору міцності, зносо-, морозо-, атмосферо- та корозійної стійкості. Встановлено, що введення високодисперсної кремнеземистої добавки (у кількості 8%) до складу золоцементно-сульфатних систем забезпечує більш рівномірний набір міцності бетонів на всіх етапах твердіння.

Вивчено корозійну стійкість бетонів на основі золоцементних систем, модифікованих сульфатом кальцію, мікрокремнеземом або метакаоліном, у агресивних середовищах, представлених розчинами сульфату натрію та магнію. Отримані значення коефіцієнтів корозійної стійкості $K_{c1,2} = 1,22...2,29$ перевищують показники корозійної стійкості $K_{c1,2} = 0,78...1,22$ (для сульфатостійких портландцементів) та $K_{c1,2} = 0,91...1,4$ (для шлаколуужних в'язучих речовин).

Використання сульфатно-кремнеземистих добавок для активації золомістких цементів дозволяє отримати в'язучі системи, що відповідають вимогам до цементів європейського класу СЕМ І 42,5 (EN 197-1) при більш високих показниках корозійної стійкості, в тому числі сульфатостійкості, стійкості до розвитку внутрішньої корозії та дифузії хлоридів, що є особливо важливим при використанні бетонних конструкцій у морській воді.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

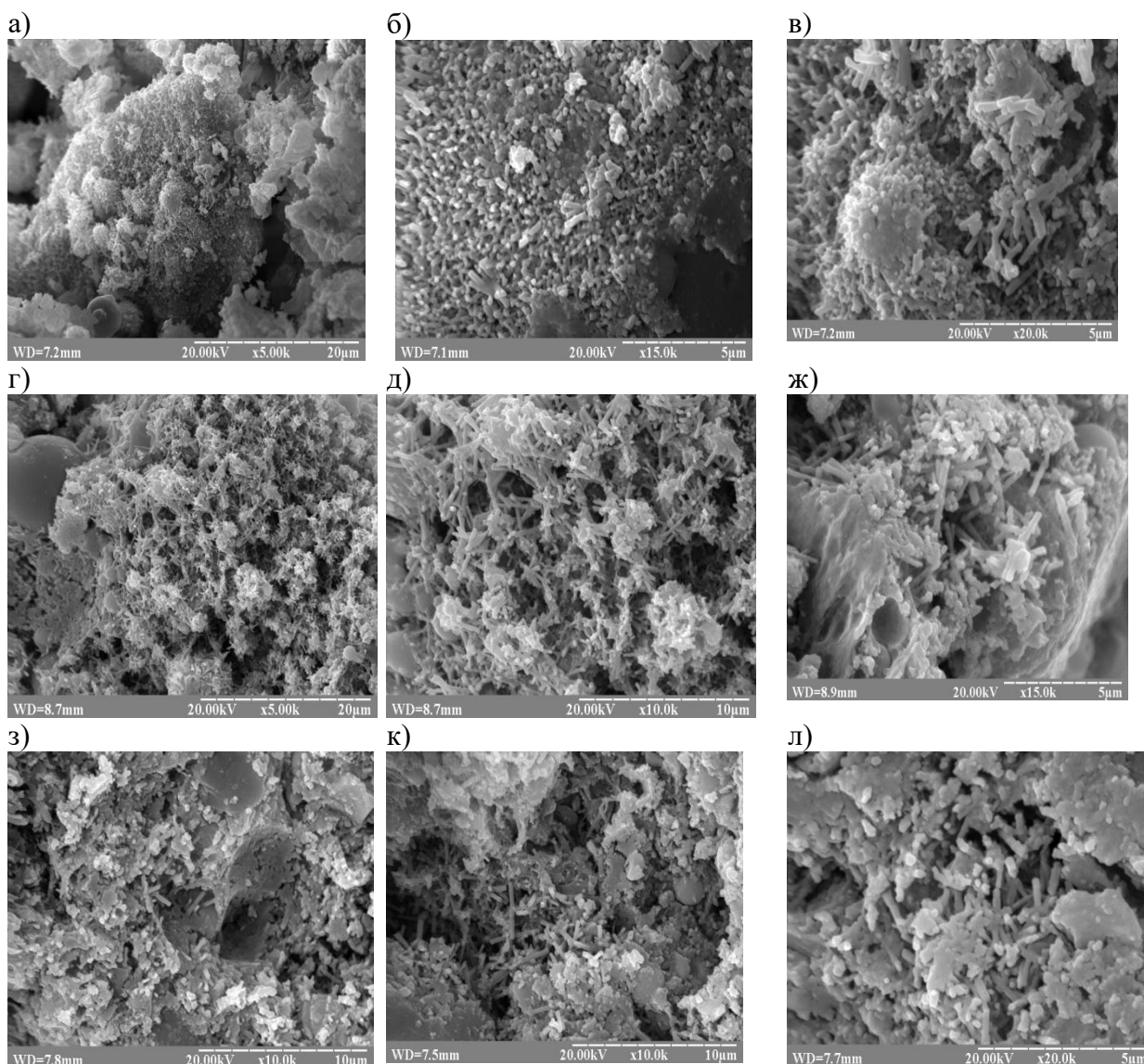


Рис. 1. Фотографії поверхні сколу штучного каменю на основі золоцементної композиції, модифікованої сульфатом кальцію (а-в), а також додатково мікрокремнеземом (г-ж) або метакаоліном (з-л)

Розроблені склади золомістких бетонів доцільно впроваджувати при спорудженні об'єктів спеціального призначення, в тому числі у дорожньому та гідротехнічному будівництві. Використання запропонованих технічних рішень дозволяє знизити витрати портландцементу (на 80%), зберегти природні ресурси, скороти витрати палива та енергії (до 60%) та ефективно вирішувати проблеми охорони навколишнього середовища [1–4].

Для покращення властивостей будівельних композиційних матеріалів широко застосовують їх дисперсне армування різними волокнами – скляними, базальтовими, хризотилловими, поліефірними, поліпропіленовою або сталеву фібрую і т.п. За їх допомогою підвищують міцність матеріалів та виробів на згин та розтяг, збільшують їх тріщиностійкість та зносостійкість, знижують усадку, сприяючи підвищенню

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

непроникності. Дисперсне армування мають такі композиційні матеріали, як фібробетони, у т.ч. торкрети, штукатурки, шпаклівки, наливні підлоги із сухих будівельних сумішей, азбестоцемент та аналогічні йому матеріали для покрівельних і огорожувальних виробів, труб тощо. Різними авторами досліджені і застосовані при розробці складів дисперсноармованих композиційних матеріалів емпіричні залежності їх властивостей від виду та вмісту волокон, їх довжини та діаметру, фізико-механічних властивостей тощо. Проте особливості взаємодії цементного каменю з поверхнею волокон на основі уявлень колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем, у т.ч. з урахуванням їх електроповерхневих властивостей, крім окремих даних про електрокінетичні потенціали не досліджувались. Отже, можливості удосконалення і створення нових композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих речовин і волокон не були вичерпаними.

Авторами згідно з розробленими новими положеннями колоїдної хімії та фізико-хімічної механіки дисперсних систем досліджено електроповерхневі властивості найбільш розповсюджених волокон, встановлено вид і поверхневу концентрацію активних центрів – потенціалвизначальних іонів, знаки і величини електроповерхневих зарядів, величини абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів, оцінено здатність до утворення електрогетерогенних контактів ЕГК з продуктами гідратації портландцементу і розроблено схеми таких контактів (рис.2).

На рис.3 наведені електронно-мікроскопічні знімки композицій із портландцементу і скловолокна, які підтверджують таку схему контактів. На знімках рис.3 *а, б* видно, що скловолокно діаметром близько 10 мкм з негативним поверхневим зарядом обросло гексагональними пластинчастими кристалами розміром до 5 мкм, характерними для портландиту з позитивним поверхневим зарядом.

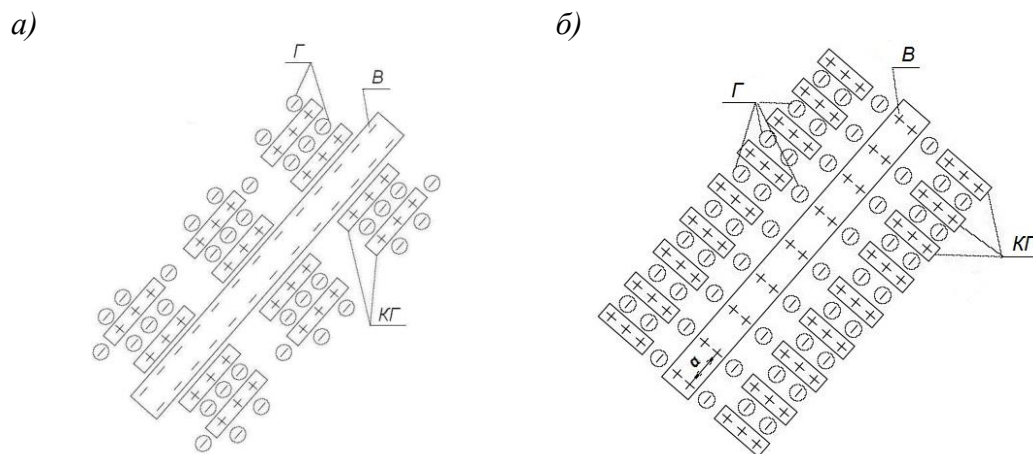


Рис.2. Схеми зони контакту продуктів гідратації цементу з волокном: *а* – з негативним поверхневим зарядом – скловолокна (рис.5.5.2); *б* – з позитивним поверхневим зарядом – невивитреного хризотилу

Між кристалами є дрібні частинки і агрегати гідросилікатного гелю, що мають негативний поверхневий заряд. Морфологія продуктів гідратації цементного каменю з добавками (рис.3, *в, г*) відрізняється від немодифікованої композиції:

кристалогідрати мають менший розмір (до 2...3 мкм), а також гексагональну форму, характерну для портландиту і гідромоносульфоалюмінату кальцію, або кубічну, характерну для гідроалюмінатів

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

кальцію (всі мають позитивний поверхневий заряд).

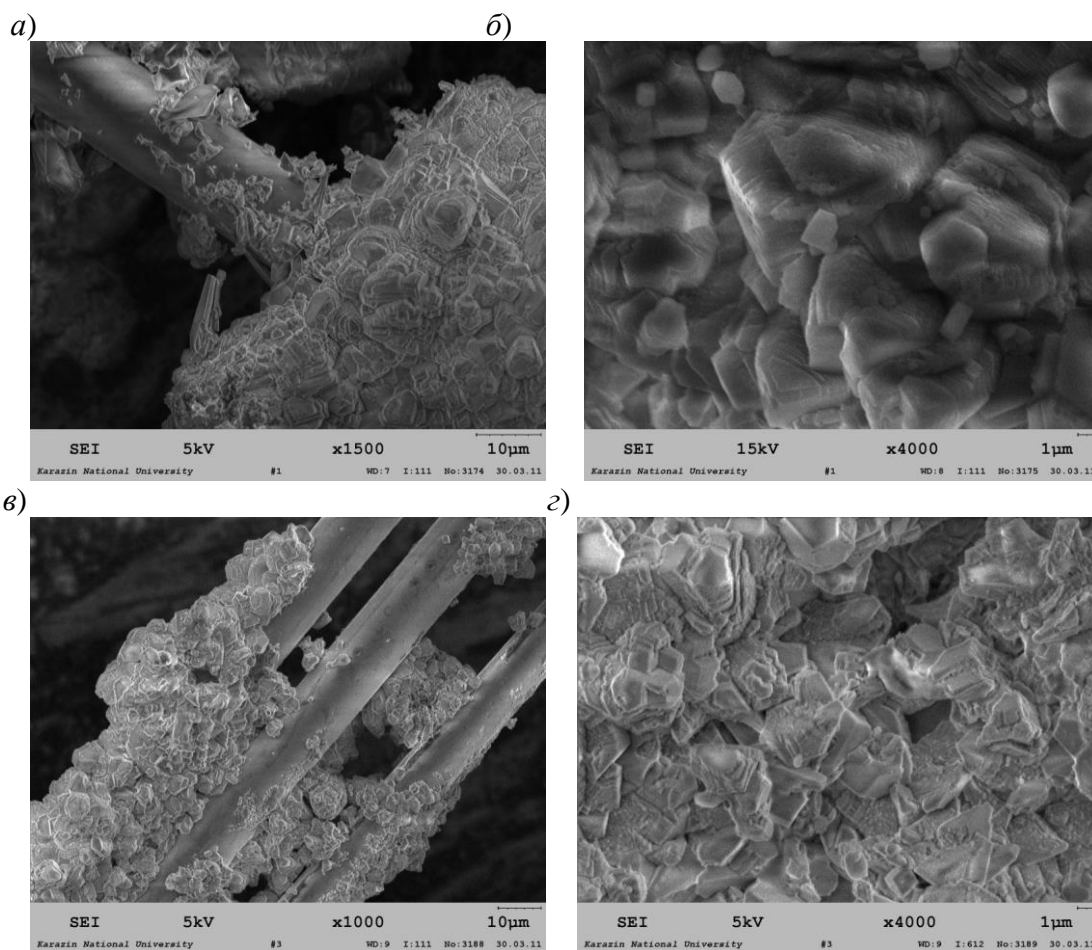


Рис.3. Фотознімки поверхні сколу каменю на основі композиції із портландцементу і скловолокна: а, б – без добавок; в, г – з добавкою дисперсного кальциту, нітрату і хлориду кальцію

Згідно результатам проведених досліджень, збільшення вмісту як волокон, так і добавки дисперсного кальциту, обумовлює підвищення міцності. Отже, встановлено, що у середовищі цементного каменю скловолокно має негативний поверхневий заряд і є підкладкою для кристалізації продуктів гідратації з позитивним поверхневим зарядом – портландиту, гідроалюмінатів, гідросульфалюмінатів кальцію, а при введенні добавок кальциту і хлоридів – гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію, утворюючи з ними ЕГК. Це забезпечує крім армування безпосередньо скловолокном своєрідне додаткове ізотропне мікроармування цементного каменю

просторовою структурою, насиченою ЕГК між кристалогідратами і гідросілікатним гелем, навіть при розчиненні скловолокна в лужному середовищі цементного каменю.

Встановлено також, що спільне використання кальциту і скловолокна забезпечує збільшення міцності композиції при стиску на 38 %, при згині – на 76 %, марки за водонепроникністю – від W4 до W10.

Проведено дослідження ефективності та екологічності використання хризотилу (як армувального компонента) порівняно з іншими природними і штучними волокнами. На основі аналізу кристалохімічної будови хризотилу і даних про електрокінетичні потенціали його різновидів встановлено, що

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

для невивіреного хризотилу (найкращого для виробництва хризотил-цементу) позитивний потенціал визначається «бруситовим» шаром, а для вивіреного – переважно кремнійкисневим. Зібрано базу даних щодо оцінки властивостей хризотилу, наявного на світовому ринку (російських, казахських, китайських, канадських, бразильських, південноафриканських родовищ), а також штучних мінеральних і органічних волокон – його заміників.

Підтверджено, що альтернативи хризотилу в сегменті виробництва бюджетних покрівельних та огорожувальних виробів не існує у зв'язку з високою вартістю всіх штучних волокон, а розгорнута у світі антиазбестова кампанія є переважно складовою конкурентної боротьби. Екологічно небезпечним є тільки заборонений амфіболовий азбест, волокна якого дійсно дуже повільно виводяться із людського організму, завдаючи йому шкоди.

Висновки

Таким чином, розроблено нові принципи і технологічні аспекти використання дисперсних речовин, у тому числі техногенного походження (золи, шлаку, мікрокремнезему тощо), при отриманні будівельних композиційних матеріалів з покращеними експлуатаційними властивостями. Зокрема, встановлено, що під час тонкого помелу золо- і шлаковмісних

в'яжучих, при введенні комплексних добавок активаторів, що містять нові суперпластифікатори, інтенсифікатори помелу, прискорювачі твердіння, досягається суттєвий синергетичний ефект, який забезпечує підвищення їх активності.

Розроблено фізико-хімічні основи композиційної побудови малоклінкерних золо- та шлакоцементних в'яжучих систем, які не поступаються за своїми властивостями портландцементам і забезпечують за рахунок використання сульфатних і кремнеземистих добавок та суперпластифікаторів формування у складі новоутворень переважно твердих розчинів гідросульфоалюмосилікатного складу та низькоосновних гідросилікатів кальцію.

Розроблено принципи і технологічні аспекти виробництва екологічно безпечних конкурентоспроможних покрівельних виробів на основі портландцементу і волокнистих матеріалів; запропоновані нові методики, що включають визначення електроповерхневих властивостей волокнистих матеріалів, пігментів і їх здатність утворювати ЕГК з продуктами гідратації цементу; запропоновані способи гарантування довговічності, у т.ч. світлостійкості, біостійкості виробів за рахунок їх об'ємної пігментації, введення нанодисперсних сполук срібла тощо.

Список використаних джерел

1. Дворкин, Л.И. Эффективные цементно-золевые бетоны / Л.И.Дворкин, О.Л.Дворкин, Л.И.Корнейчук. – Ровно, 1998. – 196 с.
2. Дворкин, Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Л.И.Дворкин, В.И.Соломатов, В.Н.Выровой, С.М.Чудновский. – Київ: Будівельник, 1991. – 136 с.
3. Кривенко, П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков: Монография / П.В.Кривенко, Е.К.Пушкарева, В.И.Гоц, Г.О.Ковальчук. – Киев: ИПК Экспресс-Полиграф, 2012. – 258 с.
4. Сергеев, А.М. Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. – Київ: Будівельник, 1984. – 120 с.
5. Элинзон, М.П. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов / М.П.Элинзон, С.Г.Васильков. – Москва: Стройиздат, 1982. – 221 с.
6. Бабачев, Г.Н. Зола и шлаки в производстве строительных материалов / Пер. с

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

болг. Л.Шаринова. - Київ: Будівельник, 1997. – 136 с.

7. Саницький, М.А. Модифіковані композиційні цементы / М.А.Саницький, Х.С.Соболь, Т.С.Марків. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2010. – 130 с.

8. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций. – Москва: Стройиздат, 1986. – 81 с.

9. Aimiri Xu Hydration and properties of fly ash concrete / Aimiri Xu, Shondeep L. Sarkar // Division of Building Materials, Chalmers University of Technology S-412 96 Goteborg, Sweden, Department of Civil Engineering, Quebec, Canada J1K2R1. – P.174–185.

10. Brandstetr, J. Composition and properties of solid residues of coal combustion / J.Brandstetr, Z.Simek // Proc. of the First Intern. Conf. «Alkaline Cements and Concretes». – 1994. – V.2. – P. 559–585.

11. Thomas, M.D.A. The Use of fly ash in concrete: a question of classification // Proc. Intern. Symposium of Ash Utilisation. – Lexington, Kentucky, 1997. – P.333–342.

12. Manz, O.E. Worldwide production of coal ash and utilization in concrete and other products. – Fuel, 1997. – Vol.76. – P.691-696.

Пушкарьова Катерина Костянтинівна, д.т.н., проф., зав. кафедри будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва і архітектури; Тел.(066)153 80 53, E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru

Дворкін Леонід Йосипович д.т.н., проф., зав. кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства, Національний університет водного господарства та природокористування. Тел.: (0362) 400-520. E-mail: dvorkin.leonid@gmail.com

Плугін Андрій Аркадійович, д.т.н., проф., зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту (УкрДУЗТ); Тел.: (057) 771 46 91. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Кагановський Олександр Семенович, к.х.н., ген. директор ТОВ «АС Капітал Менеджмент», м. Харків; Тел.(057) 760 45 51; E-mail: kotelevets@acmgroupp.org

Градобоев Олег Володимирович, ген. директор ТОВ «Балаклійський шиферний завод»; Тел. (057) 749 16 50; E-mail: info@bsk.com.ua

Плугін Олексій Андрійович, к.т.н., доц., кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДУЗТ; Тел.: (057) 730 10 68, E-mail: plugin07@rambler.ru

Pushkarova Katerina K., DSc, Prof, Head of Building Materials Dept, Kiiv National University of Construction and Architecture, Тел.(+38 066) 153 80 53, E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru

Dvorkin Leonid Iosifovich DSc, Professor, Head of Technology of Building Elements and Material Science department, National University of Water Management and Nature Resources Use Тел.: (0362) 400-520. E-mail: dvorkin.leonid@gmail.com

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT); Тел.: (+38 057) 771 46 91. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Kaganovskii Oleksander S., PhD, General Director of Limited Liability Company «AS Capital Management»; Тел.(+38 057) 760 45 51; E-mail: kotelevets@acmgroupp.org

Gradoboiev Oleg V., General Director of Limited Liability Company «Balaklia Slate Factory »; Тел. (057) 749 16 50; E-mail: info@bsk.com.ua

Pluhin Oleksii A., PhD, Docent, Building Materials, Constructions and Structures Dept, UkrSURT; Тел.: (+38 057) 730 10 68, E-mail: plugin07@rambler.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 624.012: 624.154: 624.138.2

ИНДУСТРИАЛЬНАЯ БЕЗКАПИТЕЛЬНО-БЕЗБАЛКОВАЯ КОНСТРУКТИВНАЯ СИСТЕМА И НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСНОВ И ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СУЧАСНЫХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ДОСТУПНОГО ЖИТЛА ТА ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ

Д-ри техн. наук А.М. Павліков, М.Л. Зоценко, А.М. Бамбура,
канд. техн. наук С.А. Тимошенко

ИНДУСТРИАЛЬНАЯ БЕЗКАПИТЕЛЬНО-БЕЗБАЛОЧНАЯ КОНСТРУКТИВНАЯ СИСТЕМА И НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОСНОВАН И ФУНДАМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ДОСТУПНОГО ЖИЛЬЯ И ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Д-ра техн. наук А.Н. Павликов, Н.Л. Зоценко, А.Н. Бамбура,
канд. техн. наук С.А. Тимошенко

INDUSTRIAL PRECAST REINFORCED CONCRETE UNCAPITEL UNGIRDER FRAME STRUCTURE OF A BUILDING AND MODERN BASIS AND FOUNDATIONS TECHNOLOGICAL CONSTRUCTIVE SOLUTIONS BASED ON THE MODERN BUILDING MATERIALS FOR AFFORDABLE ACCOMMODATION AND INFRASTRUCTURE FACILITIES

DSc, Professor A.M. Pavlikov, DSc, Professor M.L. Zotsenko,
DSc, Professor A.M. Bambura, PhD S.A. Timoshenko

Викладені особливості конструкції безкапітельно-безбалкового каркасу будівлі: складові елементи, переваги та недоліки, досвід застосування. Наведені нові експериментально-теоретичні розробки авторів з питань бурозмішувального методу й обладнання для виготовлення ґрунтоцементних основ і фундаментів, набивних паль в пробитих свердловинах і вдосконалених буроін'єкційних паль.

Ключові слова: безкапітельно-безбалкова конструктивна система, доступне житло, порівняльні характеристики систем, ґрунтоцементні основи і фундаменти, набивні палі в пробитих свердловинах, буроін'єкційні палі.

Изложены особенности конструкции безкапительно-безбалочного каркаса здания: составляющие элементы, преимущества и недостатки, опыт использования. Приведены новые экспериментально-теоретические разработки авторов по вопросу буросмесительного метода и оборудования для изготовления ґрунтоцементных оснований и фундаментов, набивных свай в пробитых скважинах и буроинъекционных свай.

Ключевые слова: безкапительно-безбалочная конструктивная система, доступное жилье, сравнительные характеристики систем, ґрунтоцементные основания и фундаменти, набивные сваи в пробитых скважинах, буроинъекционные сваи

This paper discusses constructive elements, advantages and disadvantages, application experience of the precast reinforced concrete uncapitel ungirder frame structure of a building. New experimental and theoretical authors developments in the sphere of drilling-mixing method

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

and equipment for soil-cement artificial foundations, cast-in-situ piles in punched holes and modern drilling injection piles are presented.

Science and technology elaborations that have been implemented to construction industry confirmed self high capacity of affordable dwelling provision.

Implementation of Uncapitel-Ungirder Frame Structure to high-rise dwelling provides reduce cost per square meter of the apartment by 40% compared to traditional wall structural systems buildings. At the same time the speed of construction increases in a half. The potential economic benefits from implementation of proposed elaborations given the current amount of precast reinforced concrete construction would be 1.39 billion UAH per year. Production of our elaborations promotes the restore of precast reinforced concrete enterprise and high job creation in construction industry.

Key words: *precast reinforced concrete uncapitel ungirder frame structure of a building, affordable accommodations, system comparative characteristics, soil-cement artificial foundations, cast-in-situ piles in punched holes, drilling injection piles.*

Вступ. Сучасна будівельна галузь України характеризується такими однаково актуальними проблемами: перша – забезпечення доступним житлом середніх за матеріальним рівнем верств населення, друга – створення конструкцій будівель з високою енергоефективністю [1].

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Розв'язання першої проблеми можливе за рахунок впровадження удосконалених технологій зведення будівель на основі вдосконалених їх конструктивних систем, серед котрих найпривабливішою є безкапітельно-безбалкова каркасна конструктивна система з мінімальною кількістю типорозмірів збірних конструкцій. Для складних інженерно-геологічних умов будівництва в Україні конструктивна система безкапітельно-безбалкового каркасу вдосконалена за рахунок розроблених і впроваджених у виробництво енергоефективних видів штучних основ і фундаментів: ґрунтоцементні штучні основи і фундаменти, набивні палі в пробитих свердловинах і вдосконалені буроін'єкційні палі. Для перелічених видів основ і фундаментів створено сучасне обладнання на базі машин і механізмів. Застосування даної системи також створює умови розв'язання другої проблеми за рахунок виконання огороджувальних конструкцій зі

спеціально розроблених дрібноштучних залізобетонних багатошарових блоків, що характеризуються високим опором теплопередачі. Енергоефективні фундаменти споруджуються без виймання ґрунту, тому при їх виготовленні немає необхідності використовувати заходи для забезпечення стійкості стінок порожнин, які при цьому утворюються. Про те, що ці проблеми важливі і вимагають першочергового розв'язання, говорить державна цільова соціально-економічна програма будівництва доступного житла на 2010 – 2017 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 11 листопада 2009 р. №1249 [1]. З метою розв'язання існуючих проблем у м. Полтаві з 2010 року почалось експериментальне будівництво із застосуванням удосконаленої безкапітельно-безбалкової конструктивної системи як в житлових, так і в громадських будівлях різного призначення.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Для розв'язання даних проблем є пропозиції, у яких викладені ідеї [2 – 8] застосування нових конструктивних систем, але їх аналіз показує, що найдоцільніше вирішувати дані проблеми за рахунок упровадження в будівництві безкапітельно-безбалкового

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

каркасу, що також підтверджується сучасними проектними розробками [6 – 12].

З метою апробації ефективності застосування безкапітельно-без-балкового каркасу у 2008 році за проектом державного проектного інституту містобудування «Міськбудпроект» вперше у м. Полтаві була використана дана система в будівлях під доступне житло, а також в будівлях іншого призначення.

У таких будівлях застосовуються енергоефективні фундаменти, які виконуються без виймання ґрунту, та відповідне обладнання, котре широко впроваджується в Україні з початку 90-х років минулого століття. Саме з того часу почали застосовуватись набивні палі у пробитих свердловинах [13 – 16]. За останні 10 років широкого розповсюдження набули ґрунтоцементні штучні основи і фундаменти [17 – 19].

Не зважаючи на широкий досвід застосування безкапітельно-безбалкової

конструктивної системи у зведенні будівель, великою проблемою залишається розв'язання задач її використання з метою здешевлення житла.

Формулювання мети та задачі досліджень. Метою статті є представлення вдосконаленої безкапітельно-безбалкової конструктивної системи з фундаментами, що споруджуються без виймання ґрунту, для зведення будівель доступного житла як найбільш економічної порівняно з іншими конструктивними системами на прикладі зведених будівель у м. Полтаві.

Виклад основного матеріалу. Сутністю даної конструктивної системи у загальному випадку є плоскі залізобетонні перекриття, які безпосередньо з'єднані з колонами за рахунок прогресивних вирішень їх стиків. У каркасах будівель, що зводяться за такими конструктивними системами, відсутні балки, консолі в колонах та капітелі (рис. 1).

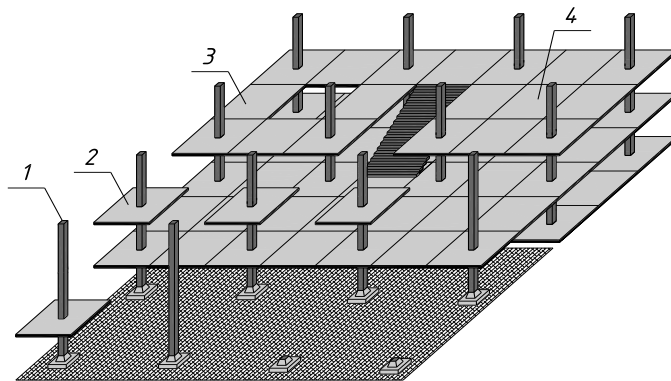


Рис. 1. Схема безкапітельно-безбалкової конструктивної системи житлової будівлі: 1 – колона; 2 – надколонна плита; 3 – міжколонна плита; 4 – середня плита

Міжповерхові перекриття у цих будівлях складаються зі збірних залізобетонних плит трьох типів: надколонних, міжколонних та середніх. Товщина усіх плит – 160 мм. Їх розміри в плані, з метою уніфікації опалубки, прийняті однаковими – 3000×3000 мм.

Надколонні плити кріпляться до поздовжньої арматури колон за допомогою зварювання закладених в них обійм, а

передбачені монтажні проміжки в 20 мм між колоною та обоймою, а також між окремими плитами заповнюються високоміцним дрібнозернистим бетоном.

З метою збільшення поверховості будівель у вдосконаленому варіанті конструктивної системи діафрагми жорсткості виконують роль несучих елементів на дію вертикальних навантажень. Діафрагми жорсткості запроектовані так, що

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

вони опираються на фундаменти, розвантажуючи таким чином колони нижніх поверхів. Це дало змогу в будівлях з такими каркасами кількість поверхів збільшити з 9 до 16. Також в плитах перекриття розташування арматури, з метою її економії, здійснювалось з обривами на ділянках неефективного її використання. Ділянки місць теоретичних обривів арматури розраховувались за спеціально розробленою методикою на основі кінематичного способу методу граничної рівноваги.



Рис. 2. Загальний вигляд житлових 16-ти поверхових будівель в м. Полтаві по вул. Богдана Хмельницького, 21 (справа) та по вул. Октябрській, 60-д (зліва) у процесі будівництва

Запроектвані до використання в каркасі будівлі елементи були випробувані у ПолтНТУ в лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів. При цьому для кожного з елементів, тобто колон, плит та сходових маршів були розроблені окремі можливі розрахункові схеми та виготовлене випробувальне устаткування. Наприклад, для надколонної плити реалізовувалась розрахункова схема плити не тільки у вигляді обпертої по контуру (рис. 3), але й як балки – частини ригеля між його нульовими точками на обвідній епюрі згинальних

З метою апробації ефективності вдосконаленого безкапітельно-безбалкового каркасу у 2008 році за проектом державного проектного інституту містобудування «Міськбудпроект» разом з ПолтНТУ вперше у м. Полтаві були зведені будівлі доступного житла (рис. 2), а також будівлі іншого призначення. Практика підтвердила суттєві переваги даного каркасу в архітектурно-планувальних та конструктивних рішеннях порівняно з будівлями, котрі будуються на основі інших прототипів каркасної та стінової конструктивних систем.

моментів (для плоскої рами каркасу). Випробовування здійснено на дію розрахункових значень навантажень. Завантаження здійснювалось гідравлічними домкратами потужністю 500кН за допомогою насосної станції.

За даними багатьох проектів та інформаційних джерел [8-12] основні показники економічності різних конструктивних систем наведені у таблиці. Вони достатньо повно характеризують переваги розглянутої у даній статті безкапітельно-безбалкової конструктивної системи (ББКС) у порівнянні з найбільш

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

відомими іншими системами, такими як АРКОС, Казань-ХХІв, Моноліт, Ж/Д КПД.

Для найбільш поширених в Україні лесових товщ ґрунту потужністю 6 – 12 м у природному чи замклому (з модулем деформації $E=3-5$ МПа) стані, які підстилають непросадкові ґрунти, найбільш ефективно зарекомендували себе, розроблені й запатентовані авторами, набивні палі у пробитих свердловинах (НППС). За технологічними і економічними

показниками вони перевершують будь-які відомі на сьогодні пальові фундаменти й штучні основи, адже мають високий ступінь використання несучої здатності основи, при їх зведенні майже відсутні земляні й опалубні роботи, зменшуються витрати бетону в 1,2 – 2 рази, металу – в 1,5 – 4, а вартість і трудомісткість – у 1,5 – 2, прискорюється нульовий цикл в 1,5 – 2 рази порівняно зі зведенням фундаментів за традиційними технологіями.

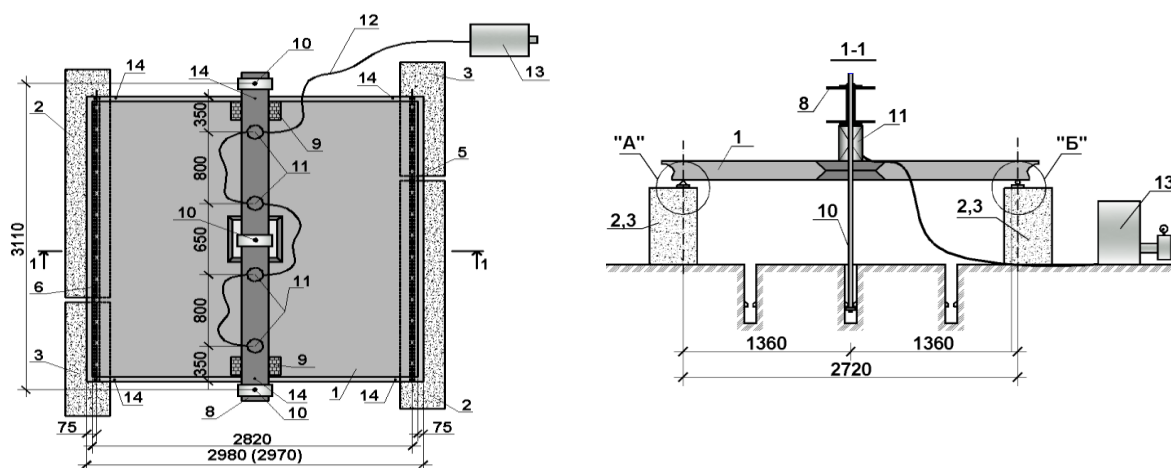


Рис. 3. Стенд для випробування надколонної плити: 1 – плита ПН 30.30.1,6–2–1; 2 – блок ФС; 3 – блок ФС; 5 – рухома опора; 6 – нерухома опора (L50x5;100x8); 8 – траверса із швелерів №30; 9 – тимчасові опори; 10 – тяжі з арматури; 11 – гідравлічні домкрати; 12 – напірні трубопроводи; 13 – насосна станція; 14 – індикатори

Таблиця

Техніко-економічні показники різних конструктивних систем

Показник	Конструктивні системи				
	АРКОС [9]	Казань-ХХІв [10]	Моноліт [11]	ББКС	Ж/Д КПД [10]
Усього сталі на м ² перекриття	11,6 кг/ м ²	14,8 кг/ м ²	27 кг/ м ²	18 кг/ м ²	14,6 кг/ м ²
Усього бетону на м ² перекриття	0,17 м ³ / м ²	0,2 м ³ / м ²	0,20 м ³ / м ²	0,16 м ³ / м ²	0,142 м ³ / м ²
Товщина перекриття	200 мм	142 мм	200 мм	160 мм	142 мм
Сітка колон	8,4×8,4 м	9×9 м	6,3×6,3 м	6×6 м	6×6 м
Арх.-планувальне рішення	вільне	вільне	вільне	вільне	вільне
Строк монтажу 12-ти поверхів	3 місяці	—	6 місяців	3 місяці	12 місяців

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

На рис. 4 представлена одна із схем зведення НППС при базовій машині екскаватор-драглайн з фрикційною лебідкою вантажопідйомністю 16 т і трамбівці масою

5 т, що скидається з висоти 6 м. Цей агрегат має продуктивність до 20 НППС за зміну. Його рекомендується застосовувати переважно на великих об'єктах.

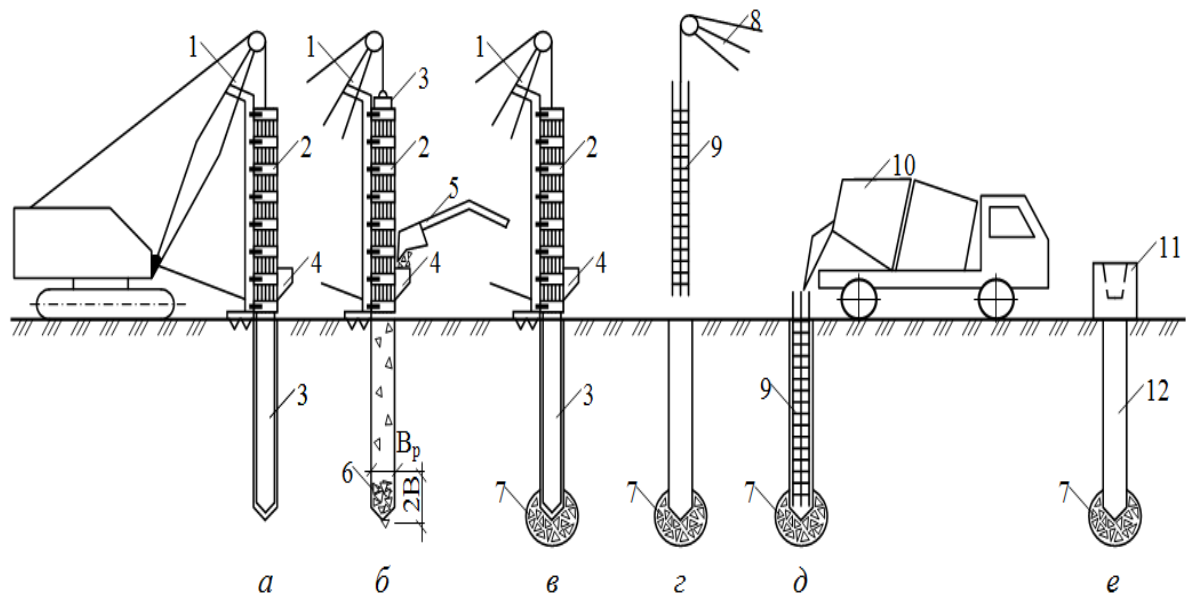


Рис. 4. Схема улаштування НППС: а – пробивання свердловини; б – подавання щебеню; в – улаштування розширення; г – установка каркасу; д – укладання бетону; е – готова НППС; 1 – базова машина; 2 – напрямна; 3 – трамбівка; 4 – дозувальний бункер; 5 – екскаватор; 6 – щебінь; 7 – розширення; 8 – кран; 9 – каркас; 10 – автобетонозмішувач; 11 – ростверк; 12 – стовбур

Розроблені авторами методи розрахунку НППС включені до державних будівельних норм, створено комплекс автоматизації таких розрахунків, котрі впроваджені на більше ніж 100 будівельних об'єктах різного призначення. Зокрема, розроблений у ПолтНТУ метод містить експериментально-теоретичну основу визначення параметрів розширень і ущільнених зон залежно від параметрів трамбівки, матеріалу розширення, фізичних властивостей ґрунту, відстані між осями НППС.

Моделювання напружено-деформованого стану (НДС) основ при їх ущільненні та в подальшій роботі при утворенні палі (фундаменту) здійснюється створеним програмним комплексом «Priz-pile», який реалізовує рішення вісесиметричної задачі методом скінчених елементів (МСЕ) кроково-ітераційними методами у фізично й геометрично нелінійній постановці. На окремих

етапах роботи програмного комплексу передбачено врахування подальшого ущільнення ґрунту, перехід його в пластичний стан, можливість проковзування палі уздовж бічної поверхні по ґрунту.

Одним із ефективних напрямлень зниження вартості фундаментобудування є використання ґрунтів, які залягають в основі об'єктів будівництва, у якості матеріалу для зведення фундаментів. Цього можливо досягти шляхом суттєвого зміцнення ґрунтів основи просочуванням цементним розчином. Зараз успішно впроваджується у будівництво бурозмішувальний метод виготовлення ґрунтоцементу. За допомогою спеціального обладнання ґрунт розпушується у певному об'ємі загального масиву основи і насичується цементним розчином. Після тужавіння суміші в основі утворюється міцний ґрунтоцементний елемент циліндричної форми заданих проектних

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

розмірів. Такі елементи можливо влаштувати у водонасиченому ґрунті і нижче рівня ґрунтових вод. Для цього авторами розроблено спеціальне обладнання на базі вітчизняних машин і механізмів (рис. 6).



Рис. 5 Загальний вигляд комплексу обладнання для виготовлення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією: 1 – буровий верстат; 2 – схованка для розчиномішалки, розчинонаосу, склад цементу; 3 – ємність для води; 4 – напірний шланг

При виконанні даної роботи було вдосконалено метод розрахунку буроін'єкційних паль шляхом урахування додаткового обтиснення бетонної суміші в процесі їх влаштування на основі експериментальних (лоткових і польових) та теоретичних досліджень напружено-деформованого стану системи «буроін'єкційна паля – основа».

Результати досліджень показують, що значення несучої здатності буроін'єкційних паль, які визначені розрахунком за ДБН, значно нижчі за ті, що визначені за даними статичних випробовувань. На підставі цих міркувань можливо зробити висновок про наявність додаткового ущільнення ґрунту в процесі ін'єктування, яке суттєво підвищує механічні характеристики ґрунтів навкруги буроін'єкційної палі. Цей висновок дозволяє використати комп'ютерну програму «Priz-pile» для оцінки НДС системи

«буроін'єкційна паля – основа». В її основу покладено феноменологічну деформаційну пружно-пластичну модель пористого тіла, що враховує процес ущільнення ґрунту при виготовленні паль через його фізичну нелінійність при значних незворотних деформаціях і швидкостях передачі тиску на основу. Внаслідок ущільнення ґрунту обчислюються його нові (наведені) характеристики, які у подальшому розрахунку враховуються при оцінці НДС системи «буроін'єкційна паля – основа».

Висновки. Запровадження безкапітельно-безбалкової каркасної конструктивної системи у зведенні будівель під доступне житло дозволяє зменшити його вартість 1м² майже на 40%, а термін зведення скоротити у два рази у порівнянні з будівлями за іншими конструктивними системами. Впровадження ґрунтоцементу для армування ґрунту та виготовлення паль

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

є доцільним з точки зору заощадження будівництві будівель доступного житла. матеріалів та енергетичних ресурсів у

Список використаних джерел

1. Програма будівництва доступного житла: — Режим доступу: Google:<http://kolo.poltava.ua/tag/dostupne-zhitlo-u-poltavi/>
2. Научно-проектное-объединение «КУБ» ООО ("НПО КУБ"): — Режим доступу: Google:http://new.kub-25.ru/about_1_0.html
3. Blekey F. A. Towards an Australian structural form – the flat plate / F. A. Blekey // *Architecture in Australia*. – 1965. – Pp. 115 – 127.
4. Stasio J. Di. Flat plate rigid frame design of low coshosing project in Newark and Atlantik Citi / F. A. Blekey // *N. J. Proc. American Concrete Institute*. – 1941. – Vol. 37. – Pp. 309 – 324.
5. Коуэн Г. Дж. Строительная наука XIX–XX вв. : Проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / Генри Дж. Коуэн; пер. с англ. В. .А. Коссаковского; под ред. Л.Ш. Килимника. – М. : Стройиздат, 1982. – 359 с., ил. – Перевод. изд.: *Science and Building.: Structural and environmental design in the nineteenth and twentieth centuries*. – A Wiley-Interscience Publikation John Wiley & Sons, New York London Sydney Toronto.
6. Унифицированная система сборно-монолитного безригельного каркаса. Основные положения по расчету, монтажу и компоновке зданий: рабочий проект : у 9-ти выпусках. / Фирма „КУБ“ СП „ИНЭКС“, Научно-проектно-строительное объединение монолитного домостроения. – М. : НСПО „МОНОЛИТ“, 1990 – .– (Серия КУБ-2,5).
7. Что такое «КУБ-2,5» : электронные ресурсы – Режим доступу : Google: zavod-zhbi.com.ua/tehnologiya-kub-2-5/.
8. Описание системы по информации НПО "КУБ": электронные ресурсы – Режим доступу : Google: kub-invest.ru/sist.html.
9. Универсальная открытая архитектурно – строительная система многоэтажных зданий: — Режим доступу: Google: <http://www.rospan.com/arkos.html>
10. Сравнение системы "КАЗАНЬ XXI ВЕК" с другими системами: — Режим доступа: Google:<http://beton-karkas.ru/index.php/-xxi-/60-php/67--q-xxiq->
11. Сборно-монолитный каркас: — Режим доступу: Google:<http://cardo-ufa.ru/sbornomonolitnyj-karkas.html>
12. Описание системы "КУБ-2.5": — Режим доступу: Google:<http://www.pi2.ru/index.php?id=147>
13. Зоценко М.Л., Нові пропозиції по визначенню несучої здатності фундаментів у пробитих свердловинах за результатами польових випробувань//М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, О.М. Гергель. Будівництво України. – 1998. – № 6. – С. 45-46.
14. Зоценко Н.Л. Устойчивость зданий на фундаментах в пробитых скважинах / Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников // *Промышленное строительство и инженерные сооружения*. – 1989. – №3. – С. 12 – 13.
15. Zotsenko N.L, Vynnykov Y.L., Schevel K.V. Mathematical Simulation of Stress-strain State of Foundation Bed with Depth Soil Compaction// *Proc. Second Central Asian Geotechnical Symposium*. – Samarkand, 2002. – P.48-50.
16. Full-scale Tests and Numerical Simulation of Interaction between Foundations with Tamped Rigid Process Wastes Widenings and Soil Environment/ N.L. Zotsenko, S.F. Klovovich, A.V. Sckola, Y.L. Vynnykov// *Proc. XIIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Vol. 1. – Prague, 2003. – P. 963-966.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

17. Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, M. Doubrovsky, V. Oganesyanyan, V. Shokarev, V. Syedin, A. Shapoval, M. Poizner, V. Krysan, G. Meshcheryakov // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – Vol. 3. – P. 2645 – 2648.

18. Zotsenko, M. Soil-cements piles, manufactured by boring and mixing technology / M. Zotsenko, A. Petrash, V. Zotsenko // Conference reports materials «Problems of Energy Saving and Nature Use 2013». – Budapest, 2014. – P. 141 – 146.

19. Nikolai Zotsenko, Yuriy Vynnykov, Vasiliy Zotsenko, Soil-cement piles by boring-mixing technology, Energy, energy saving and rational nature use, Oradea University Press, 2015, pp. 192-253.

Павліков Андрій Миколайович, доктор технічних наук, професор, зав. кафедри Полтавського національного технічного університету ім. Ю.Кондратюка; Тел. (066) 301 53 06, (067) 702 93 31; E-mail: pavlikov_am@mail.ru

Зоценко Микола Леонідович, доктор технічних наук, професор, зав. кафедри ПолтНТУ ім. Ю.Кондратюка; Тел. (05322) 7 38 57

Бамбура Андрій Миколайович, доктор технічних наук, ст. наук. співр., зав. відділом ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ; Тел. (044) 249 72 34, E-mail: niisk-office@ndibk.gov.ua

Тимошенко Сергій Анатолійович, канд. техн. наук, голова правління ПАТ «Домобудівний комбінат №4», м. Київ; Тел. (044) 426 50 26, E-mail: dbk.sales@yandex.ru

Pavlikov Andrii M., DSc, Professor, Poltava National Technical University named Yuri Kondratiuk; Phone.: +38 066 301 53 06, +38 067 702 93 31; E-mail: pavlikov_am@mail.ru

Zotsenko Mykola L., DSc, Professor, PoltNTU named Y. Kondratyuk; Tel. (05322) 7 38 57

Bambura Andrii M., DSc, State Research Institute of Building Construction, Kiiv; Tel. +38 044 249 72 34, E-mail: niisk-office@ndibk.gov.ua

Timoshenko Sergii A., PhD, House-building factory No4, Kiiv; Tel. +38 044 426 50 26, E-mail: dbk.sales@yandex.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.32

СКЛАДИ БЕТОНУ З ДОБАВКАМИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ І ПРИСКОРЮВАЧАМИ ТВЕРДІННЯ ТА РОЗДІЛЬНИМ ДОЗУВАННЯМ ФРАКЦІЙ ЗАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ БЕЗ ПРОПАРЮВАННЯ

Д-р техн. наук А.А. Пługін, канд. техн. наук О.В. Романенко, інж. А.І. Бабій, кандидати техн. наук О.А. Калінін, О.А. Пługін

СОСТАВЫ БЕТОНА С ДОБАВКАМИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРАМИ И УСКОРИТЕЛЯМИ ТВЕРДЕНИЯ, А ТАКЖЕ РАЗДЕЛЬНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ ФРАКЦИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ БЕЗ ПРОПАРИВАНИЯ

Д-р техн. наук А.А. Пługин, канд. техн. наук А.В. Романенко, инж. А.И. Бабий, кандидаты техн. наук О.А. Калинин, Ал.А. Пługин

THE CONCRETE COMPOSITIONS WITH THE ADDITION OF SUPERPLASTICIZER AND HARDENING ACCELERATOR, AND SEPARATE DOSING OF AGGREGATE FRACTIONS FOR PRODUCTION OF CONCRETE SLEEPERS WITHOUT STEAMING

DSc A.A. Plugin, PhD O.A. Romanenko, Eng. A.I. Babiy, PhD O.A. Kalinin, PhD O.A. Plugin

Досліджено вплив добавок суперпластифікаторів та прискорювачів твердіння на кінетику тверднення бездобавочного портландцементу і важкого бетону з нього за різних температур. Встановлено закономірності такого впливу, продукти гідратації, що забезпечують швидкий набір міцності. Встановлено, що добавки прискорювачі, у т.ч. хлориди, уведені в особливо щільні бетони в обмеженій кількості повністю зв'язуються в продукти гідратації в ранні терміни твердіння і не здійснюють корозійного впливу. Розроблено оптимальні склади бетону, що дозволяють забезпечувати досягнення передавальної міцності бетону за 8–48 годин в інтервалі температур твердіння 20–40°C.

Ключові слова: залізобетонна шпала, склад бетону, добавки суперпластифікатори, прискорювачі твердіння, заповнювачі, пропарювання

Исследовано влияние добавок суперпластификаторов и ускорителей твердения на кинетику твердения бездобавочного портландцемента и тяжелого бетона из него при различных температурах. Установлены закономерности такого влияния, продукты гидратации, обеспечивающие быстрый набор прочности. Установлено, что добавки ускорители, в т.ч. хлориды, при введении в особо плотные бетоны в ограниченном количестве полностью связываются в продукты гидратации в ранние сроки твердения и не оказывают коррозионного воздействия. Разработаны оптимальные составы бетона без добавок и с добавками, позволяющие обеспечивать достижение передаточной прочности бетона за 8–48 часов в интервале температур твердения 20–40 °С.

Ключевые слова: железобетонная шпала, состав бетона, добавки суперпластификаторы, ускорители твердения, заполнители, пропаривание

The influence of polycarboxylate and naphthalene formaldehyde superplasticizers, hardening accelerators to a kinetics of portland cement hardening and heavy concrete at different

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

temperatures is investigated. The investigation of the dependence of physical and mechanical properties of cement paste and concrete on the structural characteristics, as well as on the type and content of additives were performed. As a result, the regularities of such influence, hydration products that provide fast set of durability – hydrochloraluminates, hydronitroaluminates, hydrosulphoaluminates calcium were determined. It is established that the hardening accelerators including chlorides, while entering into an especially dense concrete in limited quantities completely bound in these compounds in early terms of hardening and do not have a corrosive effect on the armature and concrete. It is proposed to estimate the maximum quantity of electrolyte additives by their effect on the value of electrical resistivity of concrete. It is also proposed to submit for discussion the issue of extension of the scope of use of chlorides as the most effective hardening accelerators of concrete. Optimum compositions of concrete without additives and with additives, allowing to provide achievement of transfer strength of concrete in 8 – 48 hours depending on working hours of the enterprise in the range of temperatures of hardening 20 – 40 °C, i.e. with the minimum of steam curing or at natural curing are developed.

Keywords: concrete sleepers, concrete composition, addition of superplasticizer, hardening accelerator, aggregate, steaming

Вступ

Для виготовлення попередньо напружених залізобетонних шпал для залізниць застосовують бетон класу за міцністю на стиск С32/40 з передаточною міцністю не менше 32 МПа, марок з морозостійкості та водонепроникності F200 і W6, відповідно. В проекті нового ДСТУ на шпали, який розроблено в Українському державному університеті залізничного транспорту, уведена також вимога до питомого електричного опору бетону, який повинен бути не менше 100 Ом×м. Шпали виробляють спеціалізовані заводи залізобетонних шпал (ЗЗБШ). Заводи працюють у 1 або 2 зміни. Шпали формують у металевих формах (до 10 шпал у формі). Арматуру попередньо натягують на форми, а після досягнення бетоном передаточної міцності 32 МПа натяг передають на бетон. Для досягнення передаточної міцності через 8 годин (за роботи у 2 зміни) або 24 години (1 зміну) шпали пропарюють за температури ізотермічної витримки 45–80°C. Тому виробництво залізобетонних шпал є дуже енергоємним і розробка складів бетону з добавками, які дозволяють мінімізувати тепловологісну обробку (ТВО) залізобетонних виробів або навіть відмовитись від неї, є надто актуальною.

Мета роботи – встановити вплив

добавок і температури твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем і бетоном, обрати комплекси добавок і розробити склади бетону залізобетонних шпал з добавками, які за мінімальної температури твердіння забезпечать за 8 годин досягнення бетоном передаточної міцності 32 МПа, а у проектному віці – всіх інших нормованих властивостей.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій [1–13] показує, що забезпечити високу ранню міцність бетону, тобто прискорити тверднення, крім ТВО, можливо такими способами: 1) застосуванням швидкотверднучого цементу або домелом звичайного цементу; 2) засобами підвищення кінцевої міцності; 3) введенням добавок – прискорювачів тверднення.

Перший спосіб на ЗЗБШ вже частково реалізований шляхом застосування портландцементу без добавок з нормованим мінеральним складом і високою активністю після пропарювання і на 2 добу природного тверднення. Домел цементу на ЗЗБШ технологічно забезпечити складно й витратно, а його вплив на властивості бетону і шпал, зокрема, тріщиностійкість, вимагає окремого дослідження.

Другий спосіб може бути забезпечений:

1) зниженням водоцементного відношення

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

В/Ц за рахунок зниження витрати води та застосування інтенсивних способів ущільнення, що і так реалізовано у виробництві шпал (застосовуються жорсткі бетонні суміші з жорсткістю 14–25 с); 2) зниженням В/Ц за рахунок збільшення витрати цементу, що ще більше підвищить собівартість шпал і може обумовити зниження їх тріщиностійкості; 3) зниженням В/Ц за рахунок зниження витрати води і введення добавок-суперпластифікаторів [7–11]; 4) застосуванням мінеральних мікродобавок [10–12], наприклад мікрокремнезему, у т.ч. фракції 50–100 нм (нанокремнезему), метакаоліну, кальциту; 5) застосуванням оптимального складу бетону, який крім призначення оптимального низького В/Ц передбачає забезпечення оптимальних коефіцієнтів розсунення зерен крупного заповнювача $\alpha_{\text{опт}}$ і дрібного заповнювача $\mu_{\text{опт}}$, що обумовлюють при помірному підвищенні міцності бетону на стиск істотне підвищення його міцності на розтяг, тріщиностійкості, водонепроникності [13; 14].

Третій спосіб може бути забезпечений використанням вискоефективних хімічних добавок, що прискорюють тверднення [1; 11; 15; 16].

Гіпотези дослідження: Ранню міцність цементного каменю дозволить підвищити застосування комплексної добавки суперпластифікатора і прискорювачів твердіння. Прискорювачі твердіння – електроліти забезпечать високу ранню міцність цементного каменю за одним із механізмів, розкритих В.Б. Ратіновим [9]. Добавка суперпластифікатор компенсує втрату рухливості цементного тіста й бетону від впливу електролітів і навіть дозволить додатково підвищити міцність, у т.ч. ранню, за рахунок зниження В/Ц. Ранню міцність бетону забезпечить оптимальний склад бетону з комплексною добавкою суперпластифікатора і прискорювачів твердіння.

Матеріали для досліджень і виробництва залізобетонних шпал

Для виробництва залізобетонних шпал ЗЗБШ застосовують бездобавковий портландцемент з нормованим мінеральним складом і високою активністю після пропарювання – 36–39 МПа та у віці 2 діб – 38–43 МПа [1]. Цей цемент відрізняється від цементу, що застосовували до 2010-х рр., більш високою тонкістю помелу (рис.1).

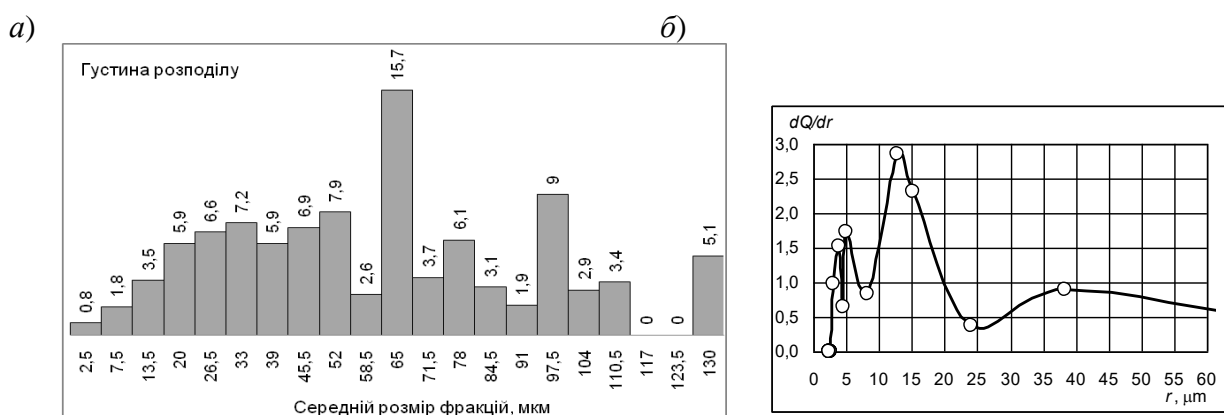


Рис.1: Розподіл часток цементу за розмірами: а – гістограма розподілу балаклійського цементу 1990-х рр.; б – диференційна крива розподілу сучасного здолбунівського цементу, r – радіус часток

Як заповнювачі застосовують щебінь гранітний суміші фракцій 5–20 мм (рис.2, а), пісок кварцовий середньозернистий з

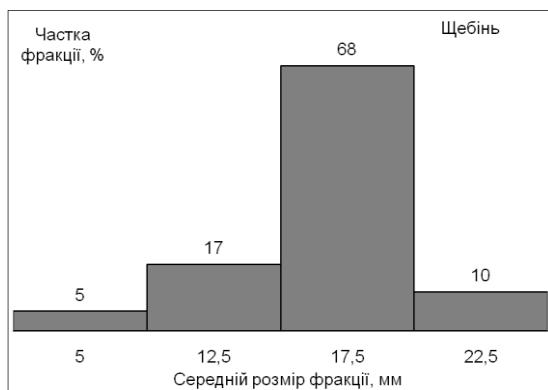
модулем крупності 2–2,4 (рис.2, б). Для застосовуваних заповнювачів оптимальні величини коефіцієнтів розсунення зерен

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

щебеню та піску складають $\alpha_{\text{опт}} = 1,17-1,2$,

$\mu_{\text{опт}} = 1,09$ [13; 14].

a)



b)

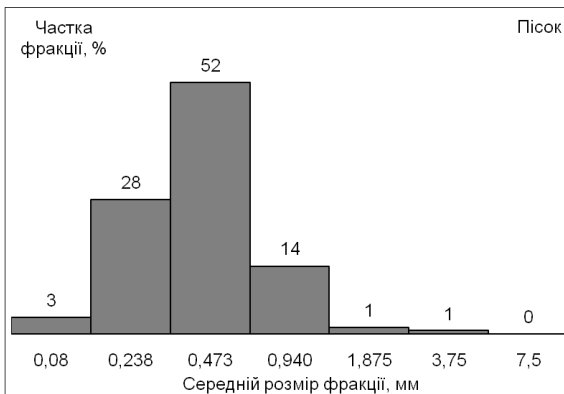
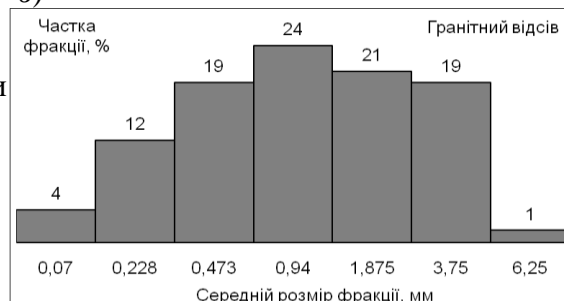


Рис.2 Гістограми розподілу за розмірами зерен щебеню (a), піску (b), гранітного відсіву (в), застосовуваних для виробництва залізобетонних шпал

в)



У питаннях призначення складу бетону багато десятиліть триває дискусія щодо доцільності застосування заповнювачів роздільних фракцій або безперервної фракції. На Гніванському заводі спецзалізобетону, де оснащення бетонних вузлів дозволяє одночасно застосовувати заповнювачі чотирьох фракцій, проведено дослідження із роздільного дозування щебеню фракцій 5–10 і 10–20 мм, піску з модулем крупності 2–2,4 і подрібненого піску (гранітного відсіву) з модулем крупності близько 3 (рис.2, в). У виробничих дослідженнях $\text{Щ}_{5-10}/\text{Щ}_{5-20}$ варіювали у межах 5–45 %, отримавши максимальні величини ранньої міцності бетону за середнім значенням $\text{Щ}_{5-10}/\text{Щ}_{5-20} = 9,4$ %.

Експериментально уточнене оптимальне співвідношення вказаних фракцій. Для цього здійснювали ретельне змішування фракцій в різних співвідношеннях і вимірювали насипну густину отриманих сумішей. За оптимальне приймали таке співвідношення, за якого

відзначалась максимальна величина насипної густини (рис.3): $\text{Щ}_{5-10}/\text{Щ}_{5-20} = 0,1$ (10 %); $\text{ГВ}/\text{П} = 0,03$ (3 %).

Таке дозування компонентів наближає заповнювачі до безперервної фракції без визначальних окремих фракцій. У такому разі залежності властивостей бетону від коефіцієнтів розсунення зерен заповнювачів набувають менш екстремального характеру, проте стають менш чутливими до неоднорідності заповнювачів і неточності дозування.

В УкрДУЗТ відповідним чином скориговано методику підбору складу бетону [13; 14]. Розроблені склади бетону, які разом з іншими заходами дозволили без застосування добавок знизити витрату цементу з 480–490 до 435–450 $\text{кг}/\text{м}^3$, а температуру тепловологісної обробки з 80 до 50–55°C.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

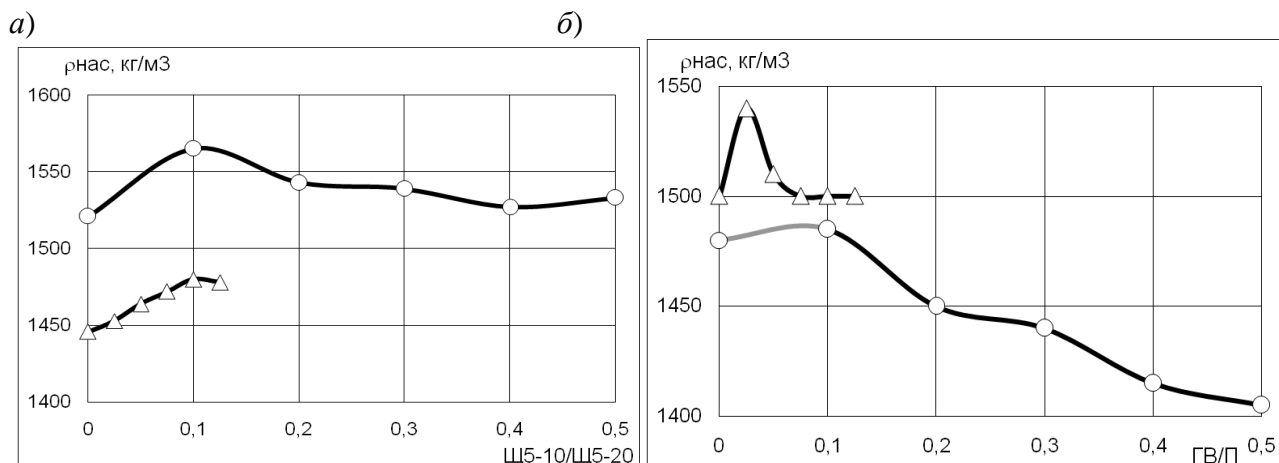


Рис.3 Залежність насипної густини $\rho_{нас}$ суміші щебеню різних фракцій (а) і піску з гранітним відсівом (б) від співвідношення кількостей фракцій щебеню 5–10 і 5–20 мм Щ5–10/Щ5–20 (а) і гранвідсіву та піску ГВ/П (б)

Витрата цементу у бетоні шпал складає 435–464 кг/м³, В/Ц – 0,31–0,35. Фактичні величини коефіцієнтів розсунення зерен щебеню та піску в основному коливаються у межах: α – 1,09–1,27, μ – 1,1–1,17, а їх відхилення від оптимальних величин не перевищує декількох відсотків (1–10 %).

У дослідженнях застосовували добавки суперпластифікатори нафталінформальдегідного типу (НФ) – Поліпласт СП-1 (С-3) у вигляді порошку (дозування 0,35 % від маси цементу), Mugarplast FK48 у вигляді 41% водного розчину (дозування 1,2 %) і полікарбоксилатного типу (ПК) – MC-Powerflow 3100, добавки прискорювачі твердіння – нітрат кальцію (НК), нітрит кальцію (НК*), нітрит натрію (НН), сульфат натрію (СН), хлорид кальцію (ХК), хлорид натрію (ХН), сечовину (М), активну мінеральну добавку – метакаолін МК Centrilit NC.

Результати досліджень та їх аналіз

Результати дослідження впливу добавок різних видів і дозувань на ранню міцність цементного каменю з В/Ц=0,23 (у контрольних зразків без добавок В/Ц=0,28), який твердів за температур 14–30°C,

наведені у табл.1. Аналіз наведених у табл.1 величин ефекту прискорення (зміни міцності у % відносно контролю – каменю без добавок або тільки з суперпластифікатором) показав, що цього ефекту в ранні терміни твердіння – 6–8 годин не виявили такі добавки:

- окремо застосовані без прискорювачів твердіння добавки суперпластифікатори нафталінформальдегідного і полікарбоксилатного типів;
- застосовані разом із суперпластифікаторами прискорювачі твердіння: нітрат кальцію НК, сульфат натрію СН, у т.ч. у сполученні з НК, хлоридом кальцію ХК, хлорид натрію, сечовина М.

Максимальний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (до 10 разів) виявили добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбоксилатного типу і хлорид кальцію, особливо спільно з нітратом кальцію та нітритом натрію (кальцію).

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Таблиця 1

Ефект прискорення твердіння цементного каменю (зміна міцності відносно контролю – каменю без добавок з В/Ц=0,28 або тільки з суперпластифікатором), %, від уведення комплексних добавок

Водоцементне відношення В/Ц	Температура твердіння, °С	Склад комплексної добавки, % за масою від витрати цементу	Ефект прискорення, %, після твердіння:				
			6 год	8 год	12 год	24 год	28 діб
1	2	3	4	5	6	7	8
0,23	14	НФ1,2+НН0,5	0	0	-39	-57	
		НФ1,2+НН0,5+НК0,5	0	0	122	-41	
		НФ1,2+НН0,5+НК1	0	0	409	-23	
		НФ1,2+НН1	0	0	233	-1	
		НФ1,2+НН1+НК0,5	0	0	293	1	
		НФ1,2+НН1+СН1	0	0	206	-24	
	17	НФ0,35				0	
		НФ0,35+СН1				13	
		НФ0,35+НН1				19	
		НФ0,35+ХН1				-4	
		НФ0,35+ХК1				21	
		ПК1	0	0	0	-53	15
		ПК1+СН1	0	0	0	-23	-2
		ПК1+НК1	0	-25	-5	33	-13
		ПК1+ХК1	0	398	662	88	-28
		ПК1+СН1+НК1	0	-25	-67	3	30
		ПК1+СН1+ХК1	0	0	0	45	-3
	ПК1+НК1+ХК1	1029	1050	676	66	-11	
	21	НФ0,35	18	-3	151	213	
		НФ0,35+НК1+НН1	71	73	160	70	
		НФ0,35+М1	-50	-51	53	167	
		ПК0,4	-25	-64	44	43	
		ПК0,4+НК1+НН1	100	65	193	84	
		ПК0,4+М1	-50	-75	-53	90	
	23	НФ0,35	16	25	49	-14	
		НФ0,35+НК1+НН1	58	81	30	-23	
		НФ0,35+ХК1	283	377	153	-15	
		НФ0,35+НК1+ХК1	956	527	217	-7	
		НФ0,35+НК1+НН1+ХК1	793	453	244	-1	
		ПК1+СН1+СН1+СН1	798	410	251	18	
		ПК0,4	-53	91	106	-8	
		ПК0,4+НК1+НН1	207	220	168	45	
		ПК0,4+НК1+НН1+ХК1	779	656	376	4	
	24	НФ0,35+М1	67	50	40	45	-21
		НФ0,35+НН1+НК1+М1	67	20	20	7	-28
		ПК0,4	0	0	0	0	0
		ПК0,4+М1	0	0	40	64	35
		ПК0,4+НН1+НК1+М1	67	0	0	-27	-27

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

1	2	3	4	5	6	7	8
0,2	30	ПК0,4	42	76	123	62	
		ПК0,4+НН0,5	-46	52	51	-27	
		ПК0,4+НН1	-24	94	113	-4	
		ПК0,4+НК*0,5	100	112	120	32	
		ПК0,4+НК*0,5+НН0,5	155	172	240	16	
		ПК0,4+НК*0,5+НН1	-9	70	100	59	
		ПК0,4+НК*1	35	85	185	3	
		ПК0,4+НК*1+НН0,5	67	64	113	32	
		ПК0,4+НК*1+НН1	-59	-5	13	36	
		ПК0,4	-59		106	17	
		ПК0,4+НК0,5	-41		232	23	
		ПК0,4+НК1	82		234	58	
		ПК0,4+НК*0,5	-14		138	73	
		ПК0,4+НК*0,5+НК0,5	191		253	71	
		ПК0,4+НК*0,5+НК1	273		133	77	
		ПК0,4+НК*1	255		166	59	
		ПК0,4+НК*1+НК0,5	264		109	65	
		ПК0,4+НК*1+НК1	418		67	35	

Менший, але помітний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (понад 2 рази) виявили комплексні добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбоксилатного типу і нітрат кальцію та нітрит натрію (кальцію). Ефект прискорення у ранні терміни твердіння – 6–8 годин зі зниженням температури, особливо нижче 20°C, зменшується. За температури 14°C ефект прискорення практично не відзначається для всіх досліджених добавок. За температури 17°C ефект прискорення відзначається лише для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію. За температури 21–23°C ефект прискорення відзначається для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію, а також нітрат кальцію та/або нітрит натрію без хлориду кальцію. Ефект прискорення у термін твердіння 12 год відзначається для всіх добавок, що містять хлорид кальцію, нітрат кальцію і нітрит натрію. Ефект прискорення у 24 год може відзначатись або не відзначатись, що свідчить про вирівнювання міцності цементного каменю без добавок і з добавками в терміни твердіння 1 доба та/або

більше. Отже, застосування добавок є доцільним для отримання передаточної міцності через 6–12 годин твердіння.

В результаті фізико-хімічних та електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що підвищення ранньої міцності цементного каменю за рахунок застосування досліджених комплексних добавок пов'язана з утворенням додаткової кількості кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом – гідрохлоралюмінатів, гидронітроалюмінатів, гідросульфалюмінатів кальцію [1; 16].

Найбільший ефект прискорення має хлорид кальцію, проте через можливий корозійний вплив на арматуру чинні норми забороняють застосовувати його для таких конструкцій, як залізобетонні шпали. У [16] доведено, що хлористий кальцій у помірній кількості (не більше 1 % від маси цементу) повністю зв'язується у продуктах гідратації (гідрохлоралюмінаті кальцію) і у щільних бетонах високих класів за міцністю не спричиняє корозійного впливу на арматуру і зниження питомого електричного опору бетону. Запропоновано винести на дискусію питання розширення галузі застосування хлоридів як найбільш ефективних

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

прискорювачів твердіння бетону. У разі заміни для особливо щільних бетонів повної заборони обмеженням кількості хлориду кальцію з контролем його впливу на питомий електричний опір бетону цю добавку доцільно застосувати для отримання безпропарювальних режимів твердіння шпал. Нітрит кальцію є більш прийнятним, ніж нітрит натрію через корозійний вплив солей натрію на бетони з реакційно здатними заповнювачами.

Досліджено вплив комплексних добавок на кінетику набору міцності бетонами оптимального складу (із забезпеченими оптимальними величинами коефіцієнтів розсунення зерен щебеню $\alpha_{\text{опт}}$ та піску $\mu_{\text{опт}}$) з витратами цементу 380–496 кг/м³ при твердінні за різними режимами. Комплексні добавки містять суперпластифікатори нафталінформальдегідного і полікарбонатного типу, прискорювачі твердіння нітрат кальцію і нітрит натрію, мінеральну добавку – метакаолін. Результати дослідження наведені на рис.4. В результаті дослідження встановлено, що за 8 годин потрібну передаточну міцність набувають бетони оптимального складу:

- за температури твердіння 42°C – без добавок з витратою цементу не менше 450 кг/м³ або з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 380 кг/м³;
- за температури твердіння 37°C – з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 400 кг/м³;
- за температури твердіння 33°C – з комплексною добавкою і витратою цементу не менше 450 кг/м³.

Впливу метакаоліну на підвищення ранньої міцності бетону не виявлено, отже його застосування доцільно лише для запобігання корозійного впливу луг цементу та солей натрію комплексних добавок на

бетони з реакційно здатними заповнювачами.

Виявлено вплив добавок на збільшення питомого електричного опору бетону, який у бетони без добавок не перевищував 100 Ом×м, а у більшості бетонів оптимального складу з комплексною добавкою перевищив 1000 Ом×м. Бетони оптимального складу з добавками відповідають вимогам до марки з морозостійкості F200.

За результатами досліджень, у т.ч. економічної ефективності використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал, для ЗЗБШ рекомендовані оптимальні склади бетону, які забезпечують його потрібну передаточну міцність 32 МПа та інші проектні характеристики:

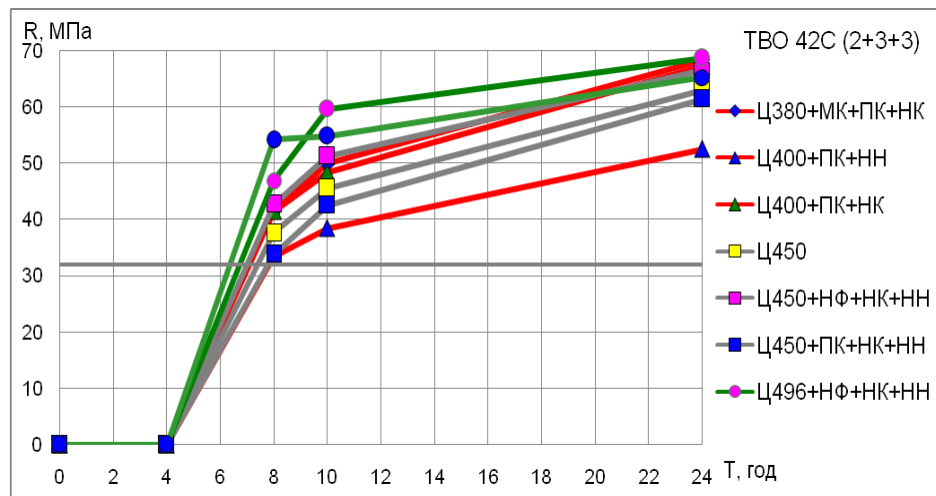
- для роботи у 2 зміни (через 8 годин):
 - за температури твердіння 40–42°C: з витратою цементу 440–450 кг/м³ без добавок; з витратою цементу 400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % від маси цементу; з витратою цементу 380 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу;
 - за температури твердіння 32–33°C – з витратою цементу 440–450 кг/м³ з добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу;
- для роботи в 1 зміну (через 24 години) за температури твердіння 24°C: з витратою цементу 435–440 кг/м³ без добавок; з витратою цементу 380–400 кг/м³ і добавкою ПК 0,4 % і НК 1 % від маси цементу.

Висновки та рекомендації

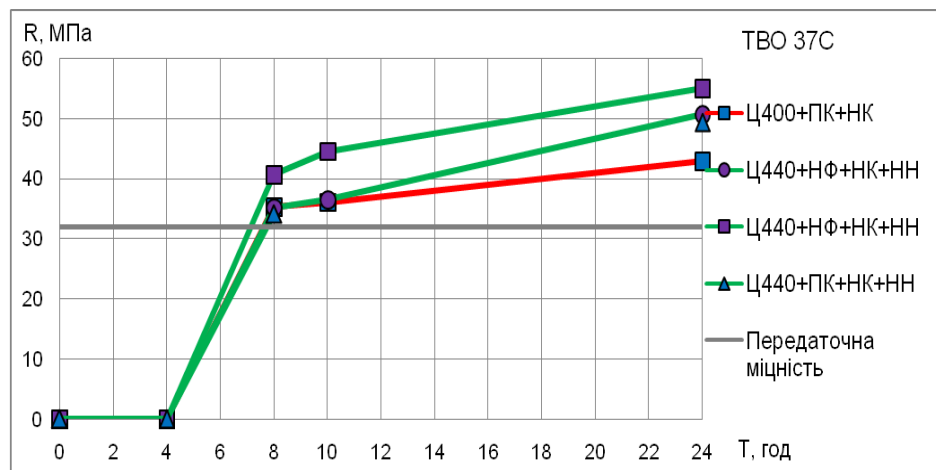
В результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору міцності цементного каменю і бетону з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння за різних температур.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

a)



б)



в)

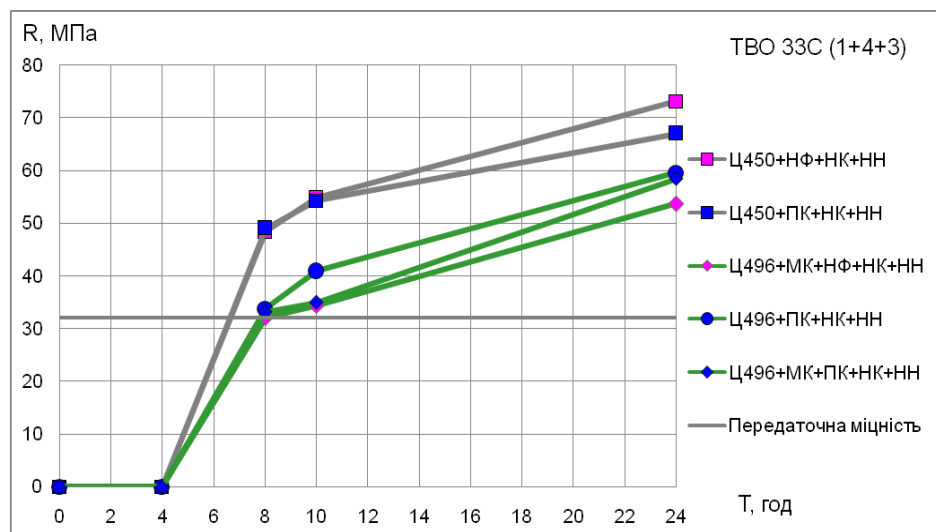


Рис.4 Кінетика набору міцності R бетоном оптимального складу з витратами цементу 380–496 кг/м³ (на рис. Ц380–Ц496) і добавками за режимами тепловологісної обробки ТВО з температурою ізотермічної витримки: а – 42°C; б – 37°C; в – 33°C

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Встановлено, що добавки прискорювачі, у т.ч. хлориди, при уведенні в обмеженій кількості в особливо щільні бетони повністю зв'язуються в кристалогідрати – гідрохлоралюмінати, гідронітроалюмінати, гідросульфалюмінати кальцію і не спричиняють корозійного впливу на арматуру й бетон. Запропоновано оцінювати допустиму кількість добавок електролітів за їх впливом на величину питомого електричного опору бетону, а також винести на дискусію питання про розширення галузі застосування хлоридів як найбільш ефективних прискорювачів твердіння бетону.

Для складів бетону для безпропарювальних і малопрогрівних

режимів твердіння шпал обрано комплексні добавки у складі суперпластифікаторів нафталінформальдегідного та полікарбоксилатного типу і прискорювачів твердіння нітрату кальцію і нітриту кальцію (натрію). Розроблено оптимальні склади бетону без добавок і з добавками, які забезпечують досягнення передаточної міцності бетону за 8–48 годин в залежності від режиму роботи підприємства в інтервалі температур тверднення 24–42°C, тобто з мінімальною тепловологісною обробкою або за природного твердіння.

Список використаних джерел

1. Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм: Звіт з НДР / УкрДАЗТ; А.А.Плугін, А.М.Плугін, О.А.Калінін та ін. – Харків, 2014. – г/т №6/5-2013. – ДР№0114U006551. – Етап 1. – 34 с.; Етап 2. – 259 с.
2. ДБН А.3.1-7-96 Управління, організація і технологія. Виробництво бетонних і залізобетонних виробів. – Увед. 24.12.1996. – Київ, Укрархбудінформ, 1997. – 40 с.
3. Посібник до ДБН А.3.1-7-96 Виробництво бетонних та залізобетонних виробів / НДІБВ. – Київ: Укрархбудінформ, 1998. – 94 с.
4. Миронов, С.А. Ускорение твердения бетона / С.А.Миронов, Л.А.Малинина. – Москва: Стройиздат, 1964. – 347 с.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона. – Москва: Высшая школа, 1987. – 415 с.
6. Волянський, О.А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій. Т.1. Технологія бетону. – Київ: Вища школа, 1994. – 271 с.
7. Баженов, Ю.М. Пути развития технологии бетона // Сб. научн. тр. института строительства и архитектуры. – Москва: МГСУ, 2009. – С.13–17.
8. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон / В.С.Рамачандран, Р.Ф.Фельдман, М.Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 576 с.
9. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. – Москва: Стройиздат, 1989. – 188 с.
10. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – Москва: Стройиздат, 1998. – 768 с.
11. Химические и минеральные добавки в бетоны / Под ред. А.В.Ушерова-Маршака. – Харьков: Колорит, 2005. – 280 с.
12. Дворкін, Л.Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах / Л.Й. Дворкін, Н.В.Лушнікова, Р.Ф.Рунова, В.В.Троян. – Київ: КНУБА, 2007. – 216 с.
13. Плугін, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. / А.Н.Плугін,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

А.А.Плугин и др.; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наук. думка. – Т.1. – 2011. – 331 с.; Т.2. – 2012. – 224 с.; Т.3. – 2012. – 288 с.

14. Методика визначення оптимального складу високоміцного, тріщиностійкого та водонепроникного бетону для конструкцій і споруд залізничного транспорту // ЦП-0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна / УкрДАЗТ; ЦП УЗ. – Київ, 2010. – С.16–23.

15. Шумик, Д.В. Суперпластифицированная цементно-водная композиция для ремонта горных тоннелей: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Защ. 31.05.2001. – Харьков: ХарГАЖТ, 2001. – 231 с.

16. Романенко, А.В. Особобыстротвердеющий беспропарочный бетон для изготовления железобетонных шпал без тепловлажностной обработки: Дисс... к.т.н. – 05.23.05. – Защ. 13.12.2012. – Харьков: УкрГАЖТ, 2012. – 241 с.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Романенко Олександр Валерійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-65. E-mail: roma_kharkov83@mail.ru

Бабій Анатолій Іванович, інженер, головний технолог ПрАТ «Гніванський завод спецзалізобетону». Тел. (0435) 53-45-83. E-mail: babiy72anatoliy@gmail.com

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-68. E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-68, E-mail: plugin07@rambler.ru

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Romanenko Oleksander V., Cand. Techn. Sci. (PhD), Docent, Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-65. E-mail: roma_kharkov83@mail.ru

Babiy Anatoliy I., DiplEng, Chief technologist, Gnivan Spezial Reinforced Concrete Plant. Tel. (+38 0435) 53-45-83. E-mail: babiy72anatoliy@gmail.com

Kalinin Oleg A., Cand. Techn. Sci. (PhD), Docent, Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-68. E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru

Pluhin Oleksii A., Cand. Techn. Sci. (PhD), Docent, Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-68, E-mail: plugin07@rambler.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.32

СКЛАДИ БЕТОНУ З ХІМІЧНИМИ ТА МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ ЗІ ЗНИЖЕНИМИ ВИТРАТАМИ ЦЕМЕНТУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

Д-р техн. наук Р.Ф. Рунова, канд.техн. наук В.В. Троян, асп. Н.О. Сова

СОСТАВЫ БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ И МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ С Пониженным расходом цемента для производства железобетонных шпал

Д-р техн. наук Р.Ф. Рунова, канд.техн. наук В.В. Троян, асп. Н.А. Сова

THE CONCRETE WITH CHEMICAL AND MINERAL ADMIXTURES WITH REDUCED COSTS OF CEMENT FOR THE PRODUCTION OF CONCRETE SLEEPERS

DSc R.F. Runova, PhD V.V. Troyan, Postgraduate N.O. Sova

Досліджено вплив комплексних органо-мінеральних добавок, які містять суперпластифікатор полікарбоксилатного типу, метакаолін і прискорювачі твердіння, на ранню міцність бетону залізобетонних шпал. Встановлено залежності ранньої і проектної міцності бетону від вмісту цементу і добавок за різних температур тверднення. За результатами досліджень запропоновано склади, які за умови досягнення за 8–10 год тверднення за температури 35–60°C передаточної міцності 32 МПа, нормованих міцності й морозостійкості у проектному віці, забезпечили зниження витрати цементу від 435–450 до 350–400 кг на 1 м³ бетону.

Ключові слова: залізобетонна шпала, склад бетону, добавки суперпластифікатори, метакаолін, прискорювачі твердіння, рання міцність

Исследовано влияние комплексных органо-минеральных добавок, содержащих суперпластификатор поликарбоксилатного типа, метакаолин и ускорители твердения, на раннюю прочность бетона железобетонных шпал. Установлены зависимости ранней и проектной прочности бетона от содержания цемента и добавок при различных температурах твердения. По результатам исследований предложены составы, которые при достижении за 8–10 час твердения при температуре 35–60°C передаточной прочности 32 МПа, нормированных прочности и морозостойкости в проектном возрасте, обеспечили снижение расхода цемента от 435–450 до 350–400 кг на 1 м³ бетона

Ключевые слова: железобетонная шпала, состав бетона, добавки суперпластификаторы, метакаолин, ускорители твердения, ранняя прочность

Influence of complex organic-mineral supplements containing polycarboxylate type superplasticizer, metakaolin and accelerators of hardening to early strength of sleepers concrete, was investigated. Depending early and design strength of the concrete from the cement content and additives at different curing temperatures were determined. According to the research have been proposed compositions that when the 8–10 hour curing at 35–60°C transfer strength 32 МПа and normalized strength and frost resistance in the project ages, provided the reduction of cement consumption from 435–450 to 350–400 kg per 1 m³ concrete.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Keywords: concrete sleepers, concrete composition, superplasticizers additives, metakaolin, accelerators of hardening, early strength

Вступ

Складовими ресурсо- та енергозбереження при виробництві залізобетонних шпал є економія портландцементу та теплової енергії, що використовується для процесу тепловологісної обробки (ТВО) бетону [1, 2]. Фактично при виробництві на нагрів самих залізобетонних шпал витрачається близько 22% енергії палива, 14% витрачається на нагрів металу форм, а решта 64% витрачаються непродуктивно [2]. При цьому, значна частина непродуктивних витрат відбувається за рахунок охолодження корпусу камер під час їх простою, при завантаженні і вивантаженні продукції та у

вихідні дні. Відомими способами мінімізації витрати цементу та енергії при ТВО є використання добавок модифікаторів [1]. Отже, метою роботи було дослідження ефективності використання хімічних і мінеральних добавок різних типів для мінімізації витрат при виробництві залізобетонних шпал

Експериментальні результати та їх аналіз

При зниженні витрати цементу на 50-100 кг/м³ (до 350-400 кг/м³), жорсткості бетонної суміші Ж2 і В/Ц=0,30-0,32 витрата добавок пластифікаторів в досліджуваних складах бетонів становила від 0,1 до 0,7% (табл.1).

Таблиця 1

Використовувані добавки

Добавка, (виробник)	Основа добавки	Витрата від маси цементу, %
PowerFlow 3100, (МС-Vauchemie)	полікарбоксилат	0,4
ЖК-04ПП, (ТОВ "Реатекс")	поліакрилат (в сухому вигляді)	0,1
К-8, (ТОВ НВП «Містім»)	нафталін-формальдегід	1

За вимогами стандарту, міцність бетону для передачі напруження арматури на бетон залізобетонних шпал має становити не менше 32 МПа. Як видно з рис.1, при витраті цементу 400 кг/м³ та режимі ТВО (2+2+4) Т=40°С, всі склади характеризувалися інтенсивним набором міцності, проте дещо нижчим ніж у контрольного складу без добавок (витрата цементу 450 кг/м³). При цьому, міцність понад 32 МПа досягалася через 8 годин ТВО. Проектна міцність (В40) бетонів досліджуваних складів на 28 добу після ТВО забезпечується (рис.3).

Зниження витрати цементу до 350 кг/м³ (рис.3.), при режимі ТВО (2+2+4) Т=40°С, призводить до зниження інтенсивності набору міцності модифікованих бетонів.

Міцність понад 32 МПа досягається лише після 9 годин ТВО. Для складу бетону з 0,4% МС PowerFlow 3100, міцність понад 32 МПа (на рівні контрольного складу, що тверднув при 40°С) досягається на 7-8 годину ТВО за режимом (2+3+3) при Т=60°С.

Міцність бетонів всіх складів на 28 добу після ТВО перевищує вимоги стандарту (рис.4).

Введення 5% метакаоліну, при витраті цементу 350 кг/м³ призводить до підвищення витрати добавок пластифікаторів (табл.2), що у випадку 0,25% ЖК-04 ПП істотно сповільнює інтенсивність набору міцності бетонів (рис. 5). Склад бетону з добавкою 0,7% МС PowerFlow 3100 після 8 годин ТВО при Т=60° за режимом (2+3+3) має міцність

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

достатню для передачі напруження арматури (рис. 5). Проектна міцність бетонів В40 всіх складів на 28 добу після ТВО забезпечується. Отже використання добавки метаксаоліну має сенс лише з метою

вирішення спеціальних задач як-то зниження ризику тріщиноутворення внаслідок електрокорозії від струмів витоку [3], або при використанні реакційноздатного заповнювача [4].

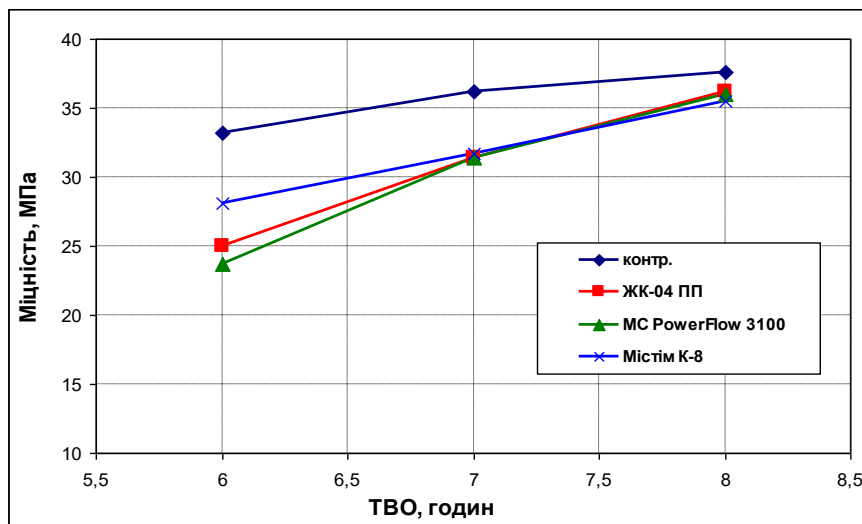


Рис.1. Кінетика набору міцності досліджуваних складів бетону з пластифікаторами при $T=40^{\circ}\text{C}$

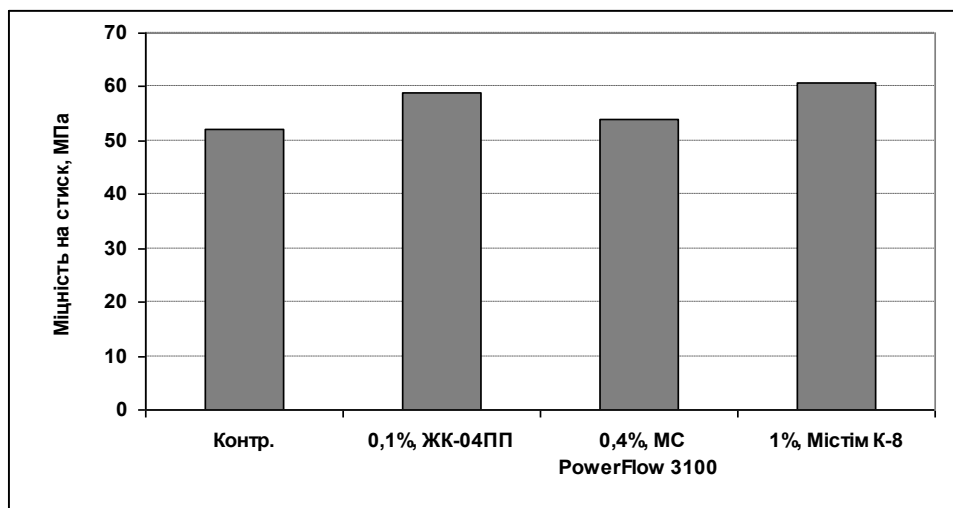


Рис.2. Міцність на 28 добу складів модифікованого бетону після пропарювання

За результатами випробувань модифікованого бетону з витратою цементу 350 кг/м^3 та $V/C=0,3$, морозостійкість перевищує 200 циклів (за третім прискореним методом ДСТУ Б В.2.7-49-96 для бетонів дорожніх і аеродромних

покріттів), водонепроникність перевищує W12.

Висновки

Таким чином, досліджено вплив різних типів суперпластифікаторів та метаксаоліну на міцність бетону залізобетонних шпал після ТВО при $T=40-60^{\circ}\text{C}$. За результатами

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

досліджень одержано склади бетонів, які за 8–10 годин ТВО при температурах 40–60°C досягають міцності передачі напруження арматури на бетон (32 МПа), при класі міцності у проектному віці понад В40, марці

морозостійкості F200 і водонепроникності W12, та характеризуються зниженими витратами цементу 350–400 кг на 1 м³ бетону.

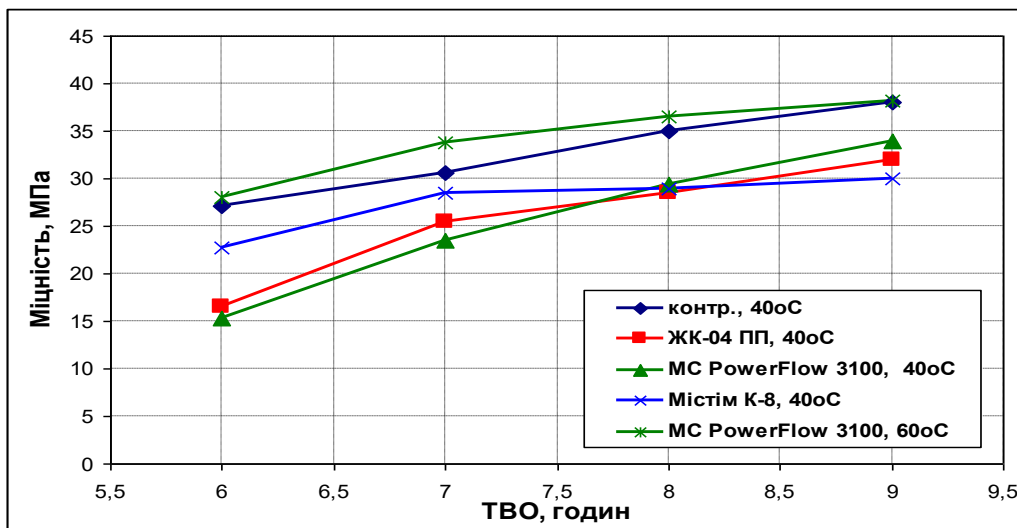


Рис.3. Кінетика набору міцності досліджуваних складів бетону з пластифікаторами при T = 40-60°C

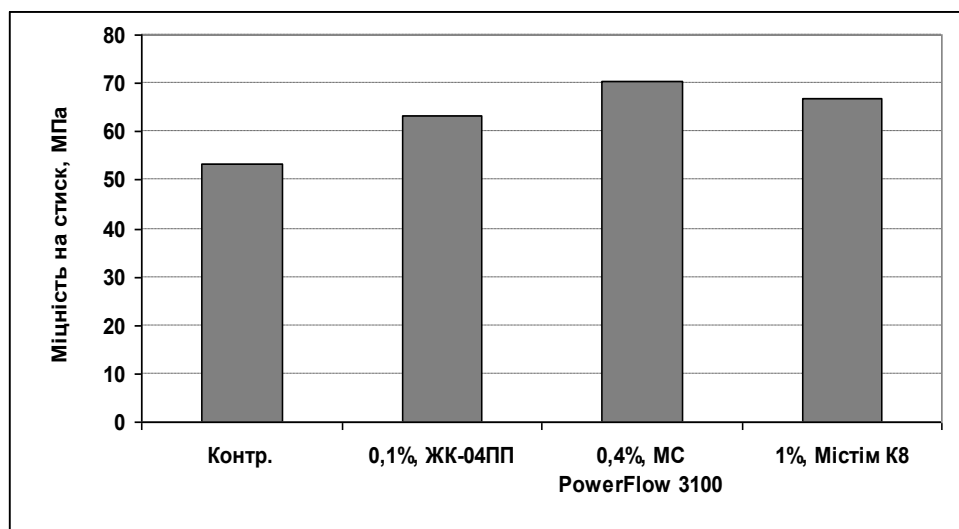


Рис.4. Міцність на 28 добу складів модифікованого бетону після пропарювання

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

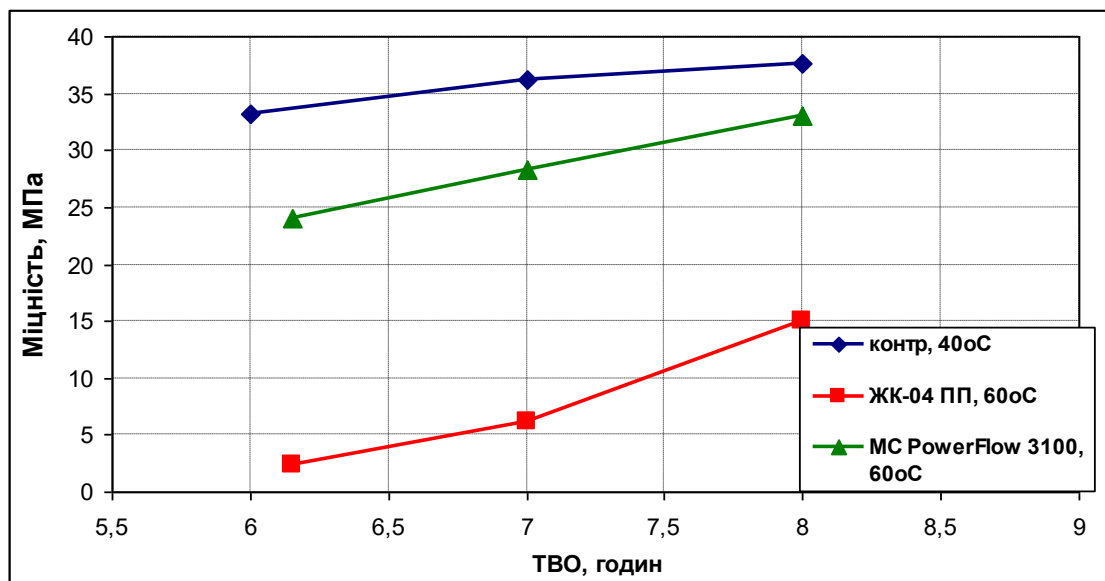


Рис.5. Кінетика набору міцності досліджуваних складів бетону з пластифікаторами та метаколіном при $T = 60^{\circ}\text{C}$

Список використаних джерел

1. Краснова Т.А. Эффективность применения добавок модификаторов для бетона при низкотемпературных режимах ТВО / Краснова Т.А., Бороуля Н.И., Кудряцова Е.А., Демина А.В. // ЖБИ и конструкции №4, 2011.

2. Ленский С.Е. Снижение расхода тепловой энергии при производстве железобетонных шпал и труб / Ленский С.Е., Кожуринчев А.М., Шумилин В.И. // Бетон и железобетон, - 1978 г.

3. Плугин А.Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций / Плугин А.Н., Плугин Ал. А., Конев А.А., Козеняшев И.А., Нестеренко С.В. // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2012, вип. 130. С. 64-70.

4. Петрова Т.М. Внутренняя коррозия бетона как фактор снижения долговечности объектов транспортного строительства / Петрова Т.М., Сорвачева Ю. А.// Наука и транспорт. Транспортное строительство №4 2012.
URL: http://www.rostransport.com/science_transport/pdf/4/56-60.pdf

Рунова Раїса Федорівна, д.т.н., проф., кафедра технології будівельних конструкцій і виробів, Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА); Тел.(044) 245 48 43, E-mail: runova@i.ua

Троян В'ячеслав Васильович, к.т.н., доц., кафедра технології будівельних конструкцій і виробів, КНУБА; Тел.(044) 245 48 43, E-mail: s_troy@ukr.net

Сова Надія Олександрівна, пров. інженер, кафедра технології будівельних конструкцій і виробів, КНУБА; Тел.(044) 245 48 43, E-mail: sovyonok--@mail.r

Runova Raisa F., DSc, Prof, Technology of Building Constructions and Products Dept, Kiiiv National University of Constructions and Architecture (KNUCA); Tel.(+38 044) 245 48 43, E-mail: runova@i.ua

Troian Viacheslav V., PhD, Docent, Technology of Building Constructions and Products Dept, KNUCA; Tel.(+38 044) 245 48 43, E-mail: s_troy@ukr.net

Sova Nadia O., leading engineer, Technology of Building Constructions and Products Dept, KNUCA; Tel.(+38 044) 245 48 43, E-mail: sovyonok--@mail.r

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 666.97+004

ОГЛЯД СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГІЇ БЕТОНУ

Д-р фіз.-мат. наук Н.Д. Сізова, кандидати техн. наук І.А. Міхєєв, О.А. Калінін, асп. Ант.А. Пługін

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Д-р физ.-мат. наук Н.Д. Сизова, кандидаты техн. наук И.А. Михеев, О.А. Калинин, асп. Ант.А. Плугин

REVIEW OF MODERN SOFTWARE SOLUTIONS FOR CONCRETE TECHNOLOGY

Doct. of phys.-math. sciences N. Sizova, PhD I. Mikheev, PhD O. Kalinin, Postgraduate Ant. Plugin

Сучасний рівень розвитку технологій бетону вимагає застосування інформаційних систем і систем штучного інтелекту при розв'язанні низки складних задач. Статтю присвячено питанням використання програмного забезпечення для розв'язання задачі проектування складу бетону.

Ключові слова: програмне забезпечення, інтерфейс користувача, проектування складу бетону.

Современный уровень развития технологий бетона требует применения информационных систем и систем искусственного интеллекта при решении ряда сложных задач. Статья посвящена вопросам применения программного обеспечения для решения задачи проектирования состава бетона.

Ключевые слова: программное обеспечение, интерфейс пользователя, проектирование состава бетона.

Information technology can combine a large number of existing knowledge, data, and models of concrete science. The introduction of modern systems of automation and computerization into technological processes should include the use of modern software. Analysis of the application of modern information technologies has shown that there is an active development and improvement of already developed programs, as well as the emergence of a new format software – an online service (web-application) for concrete mix design. Analysis also shows that most of the methods and algorithms do not solve the problem of designing contemporary issues of concrete for special structures. The result of analysis software allowed to generalize and to form requirements for the functionality of a computer program developed by the authors. Software «PSB Ukrdazt» is designed for a wide range of technological community, above all the workers of the building organizations and enterprises specialized in producing of concrete and products from it, including factories of concrete products, ready-mixed concrete producers, as well as researchers and students of universities.

Keywords: software, user interface, concrete mix design.

Вступ бетонної суміші, вибору виду та
Рішення більшості завдань управління концентрації добавки, управління ходом
виробництвом бетону: підбору складу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

технологічного процесу та ін. – приймаються, як правило, на основі евристичних знань оператора-технолога, який спирається на свій досвід і професійну майстерність. Об'єднання великої кількості наявних знань, даних та моделей в області бетонознавства і виробництва бетонних сумішей можливо за допомогою інформаційних технологій, тому впровадження сучасних комплексів автоматизації та комп'ютеризації технологічних процесів повинно передбачати використання сучасних інформаційних систем обробки даних та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [1].

Застосування апарату експертних систем при виробництві бетону дозволить істотно допомогти оператору-технологу в рішенні слабоформалізованих задач, які виникають в процесі прийняття управлінських рішень [2-7]. Перевага використання систем штучного інтелекту (експертних систем) перед традиційними системами управління полягає в тому, що вони спираються на багаторічний досвід роботи не одного, а декількох експертів, містять у собі знання, підкріплені нормативно-технічною документацією, а також вони інваріантні до людських факторів.

Метою роботи є розробка структури та інтерфейсу користувача комп'ютерної програми для визначення складу бетону. Виходячи з поставленої мети, сформульовані наступні задачі дослідження: аналіз сучасного стану проблеми застосування інформаційних технологій для розв'язання задачі проектування бетону, визначення сильних та слабких сторін кожного з наданих програмних засобів, формування списку вимог до комп'ютерної програми, що розробляється.

Аналіз інформаційних систем

Аналіз застосування сучасних інформаційних технологій для визначення складу бетону із заданими властивостями показав, що відбувається активний розвиток

та вдосконалення вже розроблених програм [8], а також появу нового формату програмного забезпечення – он-лайн сервіс (web-додаток) для визначення складу бетону.

Програма «ФоБеС-01» [9], розроблена Лихачовим Д.В., служить для проектування складів бетонних сумішей з використанням нечіткої логіки і включає в себе три модулі: проектування складу, прогнозування властивостей бетонної суміші та корекція складу.

Комп'ютерна система управління складами бетонної суміші (КСУБС 6.3) [10], розроблена Большаковим В.І. і Дворкіним О.Л., здійснює проектування базових складів бетонної суміші (рис. 1). Комп'ютерна програма має три різномовні версії з інтерфейсом на українській, російській та англійській мовах.

Прикладна комп'ютерна програма «Состав» розроблена в Інституті хімії і технології рідкісних елементів і мінеральної сировини ім. І.В. Тананаєва [8], призначена для формування бази даних, автоматизації розрахунків і аналізу інформації з метою прийняття обґрунтованого рішення при оптимізації складів і властивостей композиційних матеріалів. Із запропонованого переліку матеріалів формується таблиця умовно-постійних значень для одного або серії складів.

Програма «Concrete 2.0», розроблена Федосовим С.В., Акуловой М.В., Базановим С.М. і Тороповой Н.В., призначена для визначення складу важкого і дрібнозернистого бетонів, оцінки однорідності їх міцності і техніко-економічної ефективності. У даній програмі передбачена можливість проектування складу з добавкою пластифікатором (рис. 2).

Комп'ютерна програма «ПСБ-УкрГАЗТ 1.3» розроблена в Українській державній академії залізничного транспорту і дозволяє визначати склад бетону за заданими характеристиками зручноукладності, проектної міцності, морозостійкості і водонепроникності на основі авторської методики Пługіна А.Н.,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Плугіна А.А., Калініна О.А. [11]. В програмі реалізовано облік багатьох стандартних рецептурно-технологічних факторів, типів використовуваних в'язучих речовин, наповнювачів, а також умов експлуатації конструкції. В програмі реалізована

можливість порівняння результатів проектування складів бетону із стандартною методикою «НИИЖБ». Комп'ютерна програма «ПСБ-УкрГАЗТ 1.3» має два інтерфейси: україномовний та російськомовний (рис. 3).

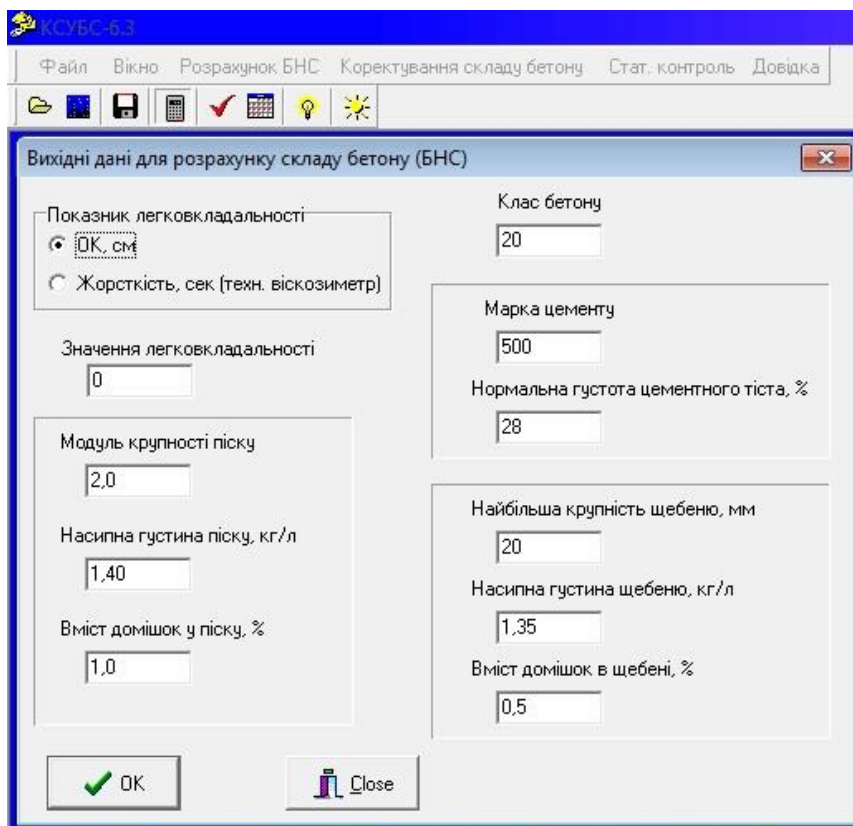


Рис. 1. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми КСУБС

Комп'ютерна програма «Concrete Design» розроблена у Харківському національному університеті будівництва та архітектури дозволяє вирішити задачу проектування складу бетону із заданими властивостями [12]. Алгоритм програми побудовано на методі розв'язання задачі умовної оптимізації (комплексний метод Бокса) та включає експериментально-статистичні залежності властивостей бетону та бетонної суміші від рецептурно-технологічних факторів. (рис. 4). Комп'ютерна програма «Concrete Design» дає можливість зберігати дані про різні складові матеріали, накопичувати та використовувати їх в процесі розрахунку складу бетону. Також доступне варіантне

проектування для вибору певних складових матеріалів з множини допустимих варіантів.

Програма «БЕТОН v.3.1», розроблена польськими вченими в Інституті основних проблем техніки Польської академії наук, складається з декількох основних модулів: картотеки, що описують характеристики конструкції з бетону, склад якого необхідно спроектувати, картотеки, що описують вимоги до бетону, показники властивостей складових бетон матеріалів (цементу і заповнювачів) [13].

Програмний комплекс «Concrete Quality» (Іспанія-США) є багатофункціональним програмним забезпеченням для лабораторій, що виконують дослідження будівельних

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

матеріалів. Програма має декілька модулів, у тому числі модуль «Mix Designs», що відповідає за проектування складу бетону. Для визначення складу бетону необхідно внести в базу даних інформацію щодо складових матеріалів та їх характеристик, обрати проектні характеристики бетону та

методологію визначення бетону. Весь процес проектування є інтерактивним та супроводжується графічними підказками. Програма підтримує операційні системи останніх поколінь, у тому числі Windows 8 (рис. 5).

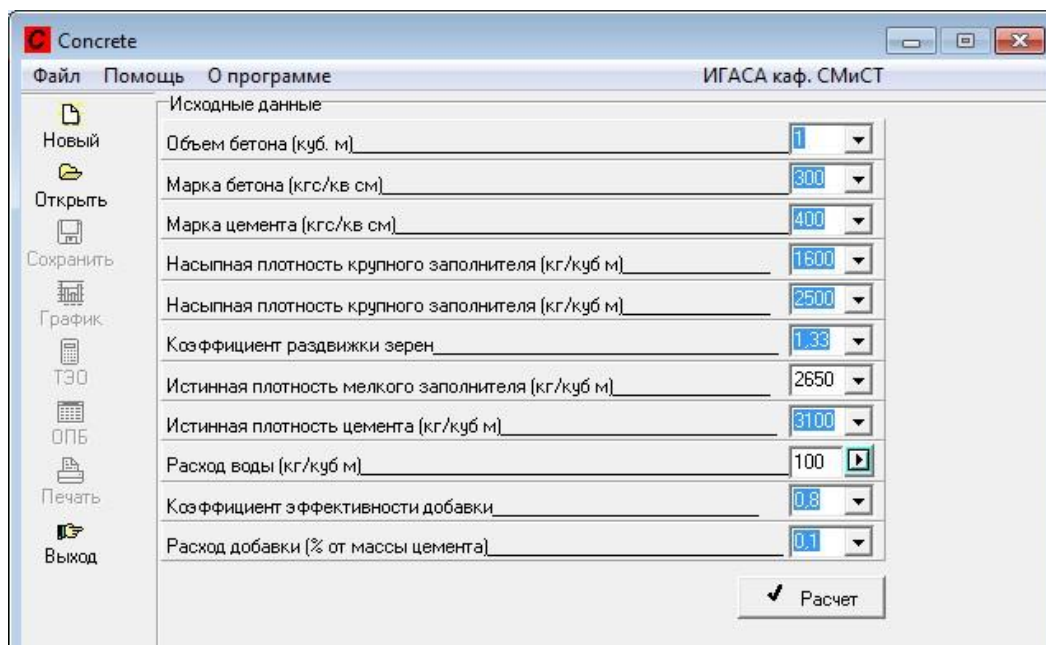


Рис. 2. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми Concrete 2.0

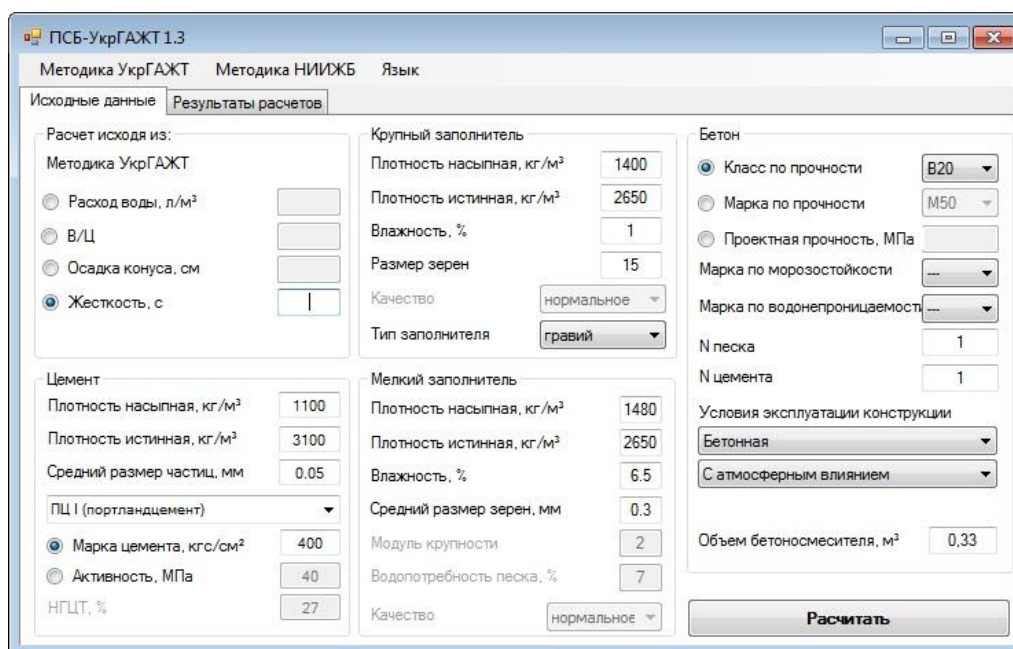


Рис. 3. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ-УкрГАЗТ 1.3»

Важливо відзначити необхідність встановлення додаткового програмного забезпечення Microsoft .Net v 4.0, Microsoft SQL Server Compact, а також реєстрації на сервері розробників.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Рис. 4. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «Concrete Design»

Широке застосування Web-технологій, можливість розробки Back-End додатків великої складності дозволяють створювати програми проектування складу бетону, що можуть працювати у браузері на комп'ютерах, підключених до всесвітньої мережі Internet. Більшість сервісів надають звичайні рецептури заздалегідь визначених складів бетонів. Однак є сервіси, що дозволяють враховувати характеристики складових матеріалів та деякі технологічні особливості.

Сервіс «Он-лайн расчет и проектирование технологических карт» ООО «Категис» дозволяє користувачу проектувати склади бетону використовуючи лише браузер без встановлювання будь-якого додаткового програмного забезпечення. Програма дозволяє враховувати основні характеристики

складових матеріалів, у тому числі і вартість (рис. 6).

Web-додаток для розрахунку складу бетону «RUKAMEN.RU» дозволяє враховувати не тільки властивості складових матеріалів, але і характеристики конструкції, для якої склад проектується. Програма дозволяє проектувати склади бетону із застосуванням пластифікаторів та повітровтягуючих добавок (рис. 7).

Основна перевага он-лайн сервісів – доступність з будь якої точки підключення до мережі Internet є одночасно і основним недоліком, так як більшість виробничих ліній не мають такого підключення.

Проведений аналіз свідчить про те, що за всіх переваг багато методів не вирішують сучасних питань задачі проектування складу бетону для конструкцій і споруд залізниць, що характеризується вимогами забезпечення

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

спеціальних властивостей бетону. Також необхідно відмітити, що незважаючи на велику кількість різновидів програмного забезпечення для розв'язання задачі проектування складу бетону всі вони

різняються за своїми функціональними можливостями, вирішують питання проектування складу бетону, не враховуючи множини рецептурно-технологічних факторів та критеріїв ефективності.

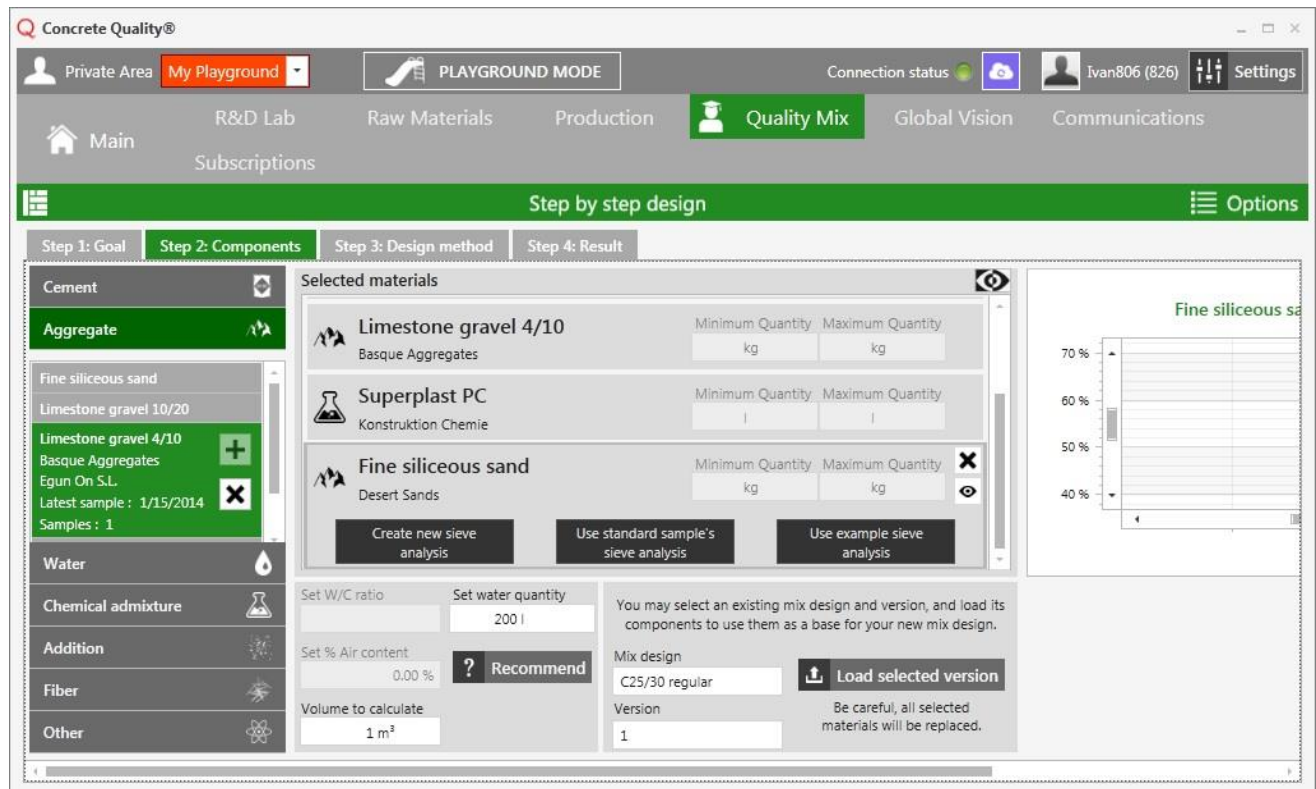


Рис. 5. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «Concrete Quality»

Результат аналізу програмних продуктів дозволив узагальнити і сформулювати вимоги до функціональних можливостей розробленої комп'ютерної програми:

- можливість роботи під різними операційними системами;
- самодостатність, тобто не вимагати встановлення на комп'ютері користувача додаткового програмного забезпечення;
- можливість налаштування інтелектуальної системи на різний рівень підготовки користувача (студент, спеціаліст-практик, дослідник);
- наявність розвинутого графічного інтерфейсу користувача;
- можливість формування звітної документації у форматі текстових редакторів з можливістю подальшого корегування;

– можливість оперативного зворотного зв'язку з розробником системи (режим електронної пошти);

- забезпечення прийнятної компактності програмного забезпечення;
- забезпечення мультимовності інтерфейсу.

Основний матеріал

В ході виконання комплексного наукового проекту: «Розвиток теоретичних та експериментальних основ визначення складів водонепроникного тріщиностійкого бетону для конструкцій і споруд залізниць» та підтеми комплексного наукового проекту «Створення прототипу інтелектуальної системи управління складом і властивостями бетону для конструкцій і споруд залізниць» колективом авторів Української державної академії залізничного

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

транспорту та Харківського національного університету будівництва та архітектури створено концептуальну модель експертної системи визначення складу бетону із заданими властивостями на основі побудованих математичних моделей та алгоритмів розв'язання задачі проектування складу бетону та комп'ютерну програму «ПСБ УкрДАЗТ», що дозволяє проектувати

склади важких цементних бетонів із заданими властивостями, основне призначення якої використання у вигляді автономної комп'ютерної програми, а також у складі комплексу автоматизованих систем управління виробництвом бетонних сумішей, бетонних і залізобетонних виробів [14] (рис. 8).

The screenshot shows a web application titled "Онлайн-расчет количества и стоимости материалов" (Online calculation of material quantities and costs). It is divided into several sections:

- Параметры бетона (Concrete Parameters):** Includes "марка бетона" (concrete grade) set to M250 and "объем бетона" (concrete volume) set to 1 m³.
- Стоимость материалов (Material Costs):** Lists prices for "песок" (sand) at 500 руб/м³, "щебень, гравий" (crushed stone, gravel) at 1200 руб/м³, and "цемент" (cement) at 3400 руб/т.
- Сделать расчет (Calculate):** A green button to initiate the calculation.
- Дополнительные параметры для расчета (Additional parameters for calculation):** A detailed form with four sub-sections:
 - Бетон/бетонная смесь (Concrete/Concrete mix):** Includes "назначение" (purpose) set to "другое" (other), "класс бетона" (concrete class) B20,0, "удобоукладываемость" (workability) П2, and "объем выхода бетономешалки" (mixer output volume) 150,0 л.
 - Песок (Sand):** Includes "модуль крупности" (fineness modulus) 2,0, "примеси" (impurities) 1,0 %, "влажность" (moisture) 3,0 %, "насыпная пл" (bulk density) 1,56 гр/см³, and "истинная пл" (true density) 2,61 гр/см³.
 - Крупный заполнитель (Coarse aggregate):** Includes "тип" (type) "щебень" (crushed stone), "крупность" (granularity) 5-20, "примеси" (impurities) 0,2 %, "влажность" (moisture) 1,0 %, "насыпная пл" (bulk density) 1,56 гр/см³, and "истинная пл" (true density) 2,68 гр/см³.
 - Цемент (Cement):** Includes "марка" (grade) ПЦ 400, "активность" (activity) 400 кгс/см², "насыпная пл" (bulk density) 1,1 гр/см³, "истинная пл" (true density) 3,11 гр/см³, and "нормальная густота" (normal consistency) 27,0 %.

Рис. 6. Web-додаток для розрахунку кількості і вартості матеріалів у бетоні із заданими властивостями

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» має декілька функцій, основна з яких визначати дозування складових матеріалів виходячи з їх характеристик та проектних властивостей бетонної суміші та бетону в певному віці, що істотно спрощує завдання прийняття рішень в нестационарних лабораторних і виробничих умовах [15].

Інтерфейс користувача розроблено із забезпеченням принципів комфортності використання, високої функціональності та підтримки користувача на всіх етапах використання розв'язання поставленої задачі.

Для кожного поля вводу, в яке користувач може помилково ввести неприпустимі значення, в кодї програми закладено інтервал/список можливих значень, а модуль виправлення помилок в коректній формі виводить повідомлення із рекомендованими значеннями. Пріоритетність результатів розробки комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ» оформлено у вигляді авторського свідоцтва.

Комп'ютерна програма «ПСБ УкрДАЗТ» призначена для широкого кола технологічної спільноти, перш за все робітників будівельних організацій і підприємств, що спеціалізуються на

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

виробництві бетону й виробів з нього, включаючи заводи ЗБВ, виробників товарного бетону, а також наукових співробітників і слухачів ВНЗів. Використання комп'ютерної програми дозволяє підвищити продуктивність праці,

культурний рівень прийняття рішень, знизити матеріалоємність виробництва та отримати економічний ефект шляхом проектування та оперативного корегування складів бетону в залежності від змін рецептурно-технологічних параметрів.

The screenshot shows the web interface of the RUKAMEN.RU application. At the top, the logo 'RU KAMEN.RU' is displayed with the text 'расчет состава бетонной смеси'. Below the logo is a warning box in Russian: 'Данная программа по расчету состава цементобетонных смесей предназначена для работников строительных лабораторий и студентов строительных специальностей. Для использования данной программы пользователь должен обладать знаниями о назначении и физико-механических свойствах получаемого бетона и его составляющих. Инструкция по работе с программой'. The main area contains several input fields and dropdown menus for configuring the concrete mix calculation. The fields are: 'Назначение бетона' (Фундамент), 'Класс бетона' (B25), 'Коэффициент вариации прочности?' (13,5), 'Тип конструкции' (Железобетонная и тонкостеная), 'Тип бетона' (Подземный), 'Морозостойкость' (F100), 'Марка бетонной смеси по удобоукладываемости' (П4), 'Нормальная густота цемента?' (27), 'Прочность (активность) цемента, МПа?' (40), 'Насыпная плотность цемента, кг/л?' (1,8), and 'Истинная плотность цемента, кг/л?' (3,1).

Рис. 7. Web-додаток для розрахунку складу бетону «RUKAMEN.RU»

Висновок

Проведений аналіз сучасних програмних продуктів для розв'язку задачі проектування складу бетону показав шляхи його удосконалення і покращення. На основі цього сформовано ряд вимог до майбутньої комп'ютерної програми. Розроблено прототип інтелектуальної системи для визначення складу і управління властивостями бетону у вигляді комп'ютерної програми. Розроблено структуру та кросплатформний інтерфейс

користувача. Застосування комп'ютерної програми на виробництві бетонних/залізобетонних виробів забезпечить оператору-технологу можливість ефективно і максимально зручно керувати якістю продукції, дозволить приймати раціональні рецептурно-технологічні рішення для конкретної виробничої ситуації в умовах невизначеності та при достатньо жорстких вимогах до ресурсозбереження.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Розрахувати

Рис. 8. Інтерфейс користувача комп'ютерної програми «ПСБ УкрДАЗТ»

Список використаних джерел

1. Сизова Н.Д., Михеев И.А. Алгоритм решения задачи проектирования состава бетона методами математического планирования эксперимента // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х.: ЕЕJET, 2010. – №2/6 (44). – С. 8-10.
2. Большаков В.И., Дубров Ю.И., Ткаченко А.Н., Ткаченко В.А. Экспертные системы как один из эффективных методов решения численно-неприводимых задач материаловедения // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2007. – Ч. 2 № 42. – С. 3-6.
3. Дубницкий В.Ю., Чернявский В.Л. Макет экспертной системы по выбору состава композитов и его модификаторов // Тезисы докладов научно-технического семинара «Компьютерный поиск оптимальных модификаторов качества композитов». Киев.: Знание, 1992. – 20 с.
4. Петрова Е.А., Михеев И.А. Практика разработки и внедрения экспертной системы в производстве бетонных изделий // Наук. вісн. будівництва. – Х.: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 43. – С. 242-244.
5. Gonzalez A.J., Dankel D.D. The Engineering of Knowledge-Based Systems Theory and Practice. - New Jersey: Prentice-Hall, Incorporated, Englewood Cliffs, 1993. – 523 p.
6. Kaetzel L.J., Clifton J.R. Expert/ Knowledge Based Systems for Materials in the Construction Industry: State-of-Art Report. – Washington: SHRP NAS, 1993. – 36 p.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

7. Users Guide to the Highway Concrete (HWYCON) Expert System. Strategic Highway Research Program, SHRP-C-406. – Washington DC: SHRP NAS, 1994. – 30 p.
8. Латорец Е.В., Михеев И.А. Анализ применения современных информационных технологий для решения задач производства товарного бетона // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: ЕЕJET, 2011. – №3/9 (45). – С. 4-6.
9. Лихачев Д.В. Автоматизация процесса проектирования составов бетонных смесей и их корректировки на основе прогнозирования качества будущего бетона с использованием четких и нечетких моделей: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук – Специальность 05.13.06. – Орел, 2004. – 18 с.
10. Дворкин О.Л. Многопараметрическое проектирование составов бетонов. – Ровно: РГТУ, 2001. – 121 с.
11. Спосіб визначення складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону. А.М. Плугін, О.А. Калінін, С.В. Мірошніченко, А.А. Плугін та ін.. Патент України №62613 UA. публ. 15.06.2005. Бюл. №6.
12. Міхеев І.А. Комп'ютерна програма «Concrete Design». А.с. 39817 Україна. – Опубл. 30.08.2011.
13. Sliwinski J. Beton zwykly – projektowanie i podstawowe wlastiwosci. – Krakow: Polski Cement Sp. z o.o., 1999. – 164 s.
14. Сизова Н.Д., Михеев И.А. Особенности создания программного обеспечения для проектирования состава бетона // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2013, № 6/2(66)– С. 27-31.
15. Сизова Н.Д., Плугин А.А., Калинин О.А., Михеев И.А. Физическое и математическое моделирование в задаче проектирования состава бетона // Моделирование и оптимизация композитов: Материалы к международному семинару, посвященному 80-летию В.А. Вознесенскому (Одесса, 22-23 апр. 2014). – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 90-94

Сизова Наталья Дмитривна, д-р фіз.-мат. наук, професор, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net

Михеев Иван Андрійович, канд. техн. наук, кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій, Харківський національний університет будівництва та архітектури. Тел.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-68. E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru

Плугін Антон Андрійович, аспірант, кафедра штучного інтелекту, Харківський національний університет радіоелектроніки. Тел.: (057) 702-13-37. E-mail: anplug@gmail.com

Sizova Nataliya, doct. of phys.-math. sciences, professor, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: sizova@ukr.net

Mikheev Ivan, cand. of techn. sciences, department of economic cybernetics and information technologies, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 706-20-49. E-mail: i.a.mikheev@gmail.com

Kalinin Oleg, cand. of techn. sciences, docent, department of building materials, structures and facilities Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-68

Plugin Anton, postgraduate, department of artificial intellect, Kharkiv National University of Radioelectronics. Tel.: (057) 702-13-37. E-mail: anplug@gmail.com

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 620.193.7

РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО МІЦНІСТЬ І ЕЛЕКТРОКОРОЗИЮ СТАЛІ В СТАЛЕВИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Д-р техн. наук Д.А. Плугін

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОЧНОСТИ И ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ СТАЛИ В СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Д-р техн. наук Д.А. Плугин

DEVELOPMENT OF CONCEPTS OF STRENGTH AND ELECTROCORROSION OF STEEL IN STEEL AND REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

DSc D.A. Plugin

Встановлено, що в основі механічних властивостей сталі лежить її зерниста полідисперсна структура, існування на поверхні зерен подвійних електричних шарів і електроповерхневого потенціалу, латеральне відштовхування між протіонами подвійних електричних шарів. Під впливом зовнішнього електричного потенціалу на поверхні блоків і зерен сталі виникає додатковий електроповерхневий потенціал, що призводить до збільшення на поверхні феритового блоку латерального електроповерхневого відштовхування між потенціалвизначальними іонами, що спричинює електрокорозію сталі.

Ключові слова: *сталь, структура, міцність, електрокорозія, латеральне відштовхування, електроповерхневий потенціал.*

Установлено, что в основе механических свойств стали лежит ее зернистая полидисперсная структура, существование на поверхности зерен двойных электрических слоев и электроповерхностного потенциала, латеральное отталкивание между противоположными двойных электрических слоев. Под влиянием внешнего электрического потенциала на поверхности блоков и зерен стали возникает дополнительный электроповерхностный потенциал, что приводит к увеличению на поверхности ферритового блока латерального электроповерхностного отталкивания между потенциалопределяющими ионами, что вызывает электрокоррозию стали.

Ключевые слова: *сталь, структура, прочность, электрокоррозия, латеральное отталкивание, электроповерхностный потенциал.*

It is found that the basis of the mechanical properties and corrosion of steel lying grained character of the structure, existence on the surface of grains of electrical double layers and electrical the surface potential, the interaction between the grains in the form of ion-electron attraction in individual contacts, lateral repulsion between counterions in electrical double layers. The correctness of the assumption that the driving force of the plastic deformation steel from the mechanical stresses there is the appearance in the layer between the ferrite grains electrical of the surface lateral repulsion that requires further research theoretically is proved. It is found that under the influence of an external electric potential at the surface of grains and blocks of steel arises an additional electric surface potential, which leads to an increase on the surface of the ferrite block the lateral electrically surface repulsion between the ions that define of potential, that the causes electro-corrosion of steel.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Keywords: steel, structure, strength, electro-corrosion, lateral repulsion, electrical the surface potential.

Вступ.

Значна частина відповідальних залізобетонних та металевих конструкцій і споруд на електрифікованих постійним струмом ділянках залізниць виходить з ладу значно раніше нормативних термінів служби, часто вимагає великих експлуатаційних витрат і невідкладного капітального ремонту. Однією з проблем експлуатації залізничних тунелів в Україні є корозія, у тому числі електрокорозія від струмів витoku, та механічний знос рейок і рейкових скріплень, які в частині тунелів відбуваються дуже інтенсивно і завдають значних збитків, вимагаючи їх заміни набагато раніше відпрацювання за пропущеним тоннажем.

Постановка проблеми.

Як показано нами [8, 9, 14, 15, 16], головною причиною недостатньої довговічності зазначених конструкцій є недосконалість існуючих теорій електрокорозії залізобетонних конструкцій, а також сталі, в тому числі арматурної і рейкової. Встановлення впливу різних факторів на інтенсивність корозії та знос рейок і рейкових скріплень в тунелях є невирішеною науковою проблемою, а розробка заходів з їх запобігання, обґрунтування раціональних термінів служби рейок – актуальним завданням.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій.

Уявлення про міцність у вигляді різних теорій міцності розроблялися в різних науках – опір матеріалів, механіка твердого тіла, механіка руйнування, теорія міцності металів та ін. Проте, жодна з перерахованих теорій міцності не є досконалою, як правило не відбиває дійсну структуру і властивості сталі, а також не враховує основних руйнуючих чинників, що діють на електрифікованому залізничному транспорті, – електрокорозія і електропластичний ефект.

Основним недоліком існуючих теорій електрокорозії є їх описовий характер, відсутність оцінки впливу напруги на поверхні сталі і рейок на ступінь і кінетику їх електрокорозії. Багато факторів, що впливають на інтенсивність електрокорозії є невивченими, відповідно заходи із захисту від корозії, передбачені діючими інструктивними документами, є недосконалою.

Метою досліджень є розвиток нових кількісних уявлень про механічні властивості і електрокорозію сталі, зокрема рейок, з урахуванням її мікро- і субмікроструктури і електроповерхневих властивостей її структурних елементів, явищ і процесів.

Основна частина дослідження. Як відзначається в [2, 3, 12], для всіх металів, в тому числі сталі, проявляється електропластичний ефект, тобто зменшення їх характеристик міцності, підвищення повзучості, зміна кінетики пластичних деформацій. На наш погляд, вплив електричного поля при пропусканні струму обумовлено виникненням додаткових сил латерального електроповерхневого відштовхування між протіонами – ПРІ (потенціалвизначальними електронами – ПВЕ), які спричиняють відштовхування між поверхневими зернами сталі. Це дає підставу припустити, що рушійна сила пластичного деформування від механічного напруження і від електричного потенціалу та ж сама – виникнення в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування.

При формуванні структури сталі з розплаву спочатку виникають блоки фериту із плоскими рівноважними подвійними електричними шарами (ПЕШ) (поки існує рідка фаза розплаву). Потім у міру збільшення кількості блоків і зникненні за рахунок цього розплаву виникають зерна, у яких блоки мають між собою ПЕШ із одним

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

загальним шаром протиіонів, рис. 1. Такі ж ПЕШ виникають між зернами й суміжними прошарками цементиту. При цьому контакт між блоками в зерні здійснюється через одиничні контакти ПВЕ – Fe^{2+} – ПВЕ з одним загальним шаром протиіонів Fe^{2+} , рис. 1.

Між зернами фериту виникають одиничні контакти через цементитові гнізда $2Fe_3C$, утворюючи своєрідний прошарок, рис. 2 [8]. Одиничні контакти в прошарках розсунуті на значні відстані, що на порядок і більш перевищують розмір протиіонів Fe^{2+} і цементитових комірок у них.

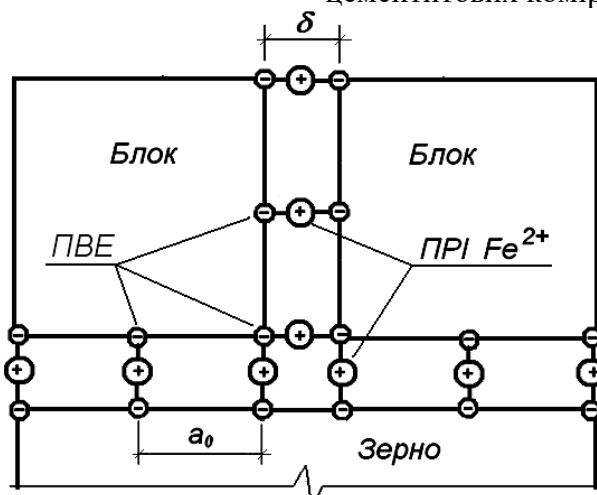


Рис. 1. Схема утворення одиничних електрогетерогенних контактів між блоками фериту в залізі

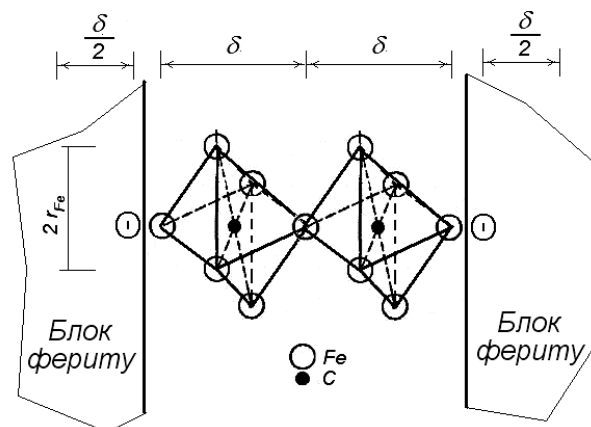


Рис. 2. Схема утворення одногодинного контакту між сумісними блоками фериту в сталі за допомогою комірок з цементиту

У нейтральній конденсатній плівці води ($pH = 7$) електроповерхневий потенціал зміщається на величину $0,059 pH$ [1], у результаті чого на поверхні зерна, що граничить із водою, встановлюється рівноважний електроповерхневий потенціал $\psi_{EP}^P = 1,77 - 0,059 pH = +1,36$ В. Подібний ПЕШ має поверхня рейок та коліс колісних пар.

При передачі навантаження від колеса на рейку ПЕШ на контактуючих поверхнях

колеса й рейки стискаються, перекриваючись, при цьому молекули води з ПЕШ віджимаються, ПРІ подвійних шарів переходять в один загальний шар гідратованих ПРІ OH^- , аналогічний наведеному на рис. 1.

У результаті концентрація ПРІ OH^- стає більше концентрації ПВЕ Fe^{2+} , ніж в рівноважному ненавантаженому ПЕШ.

У такому стисломому ПЕШ з'являються надлишкові ПРІ (понад електронейтрального

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стану ПЕШ), між якими виникає сила латерального електроповерхневого відштовхування. Відповідно, виникає сила латерального електроповерхневого відштовхування між поверхневими зернами фериту.

Взаємодія між ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- в одиничному контакті визначається іон-іонним притяганням за формулою:

$$f_{ПР} = \frac{z_{Fe^{2+}} \cdot e \cdot 2 \cdot z_{OH^-} \cdot e}{4\pi\epsilon_1\epsilon_0\delta_{O^-}^2} \quad (1)$$

Відстань між ПВІ, тобто між одиничними контактами, a_0 визначимо з виразу для щільності поверхневого заряду в щільному ПЕШ [7, 13]

$$q = \frac{\epsilon\epsilon_0\psi_{ЭП}^P}{d_1} \quad (2)$$

Поверхнева концентрація ПВІ

$$n = \frac{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot |-1,36|}{2,33 \cdot 10^{-10} \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \left(\frac{В}{м \cdot Кл} = \frac{Кл}{м^2 \cdot Кл} = \frac{1}{м^2} \right) = \frac{12,036 \cdot 10^{-12}}{7,46 \cdot 10^{-29}} = 1,61 \cdot 10^{17} \left(\frac{1}{м^2} \right)$$

$$a_0 = \sqrt{\frac{1}{1,61 \cdot 10^{17}}} = \sqrt{0,62 \cdot 10^{-17}} = 2,51 \cdot 10^{-9} м = 2,51 нм$$

Відстань між гідратованими ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- , тобто з молекулою води між ними: $\delta = (2,33+2,8) \cdot 10^{-10} = 5,13 \cdot 10^{-10} м$.

$$f_{ПР} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5,13^2 \cdot 10^{-20}} = \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{111,16 \cdot 10^{-12} \cdot 26,32 \cdot 10^{-20}} \cdot 1,41 =$$

$$= \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{2925 \cdot 10^{-32}} \left(\frac{Кл^2}{м^2} = \frac{Кл \cdot В}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} \right) = 0,0035 \cdot 10^{-6} = 0,35 \cdot 10^{-8} Н$$

Сила притягання між ПВЕ й ПРІ Fe^{2+} в одиничному контакті між блоками в зерні фериту:

$$f_{ПР} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1,6^2 \cdot 10^{-38}}{4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,52^2 \cdot 10^{-20}} = \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{111,16 \cdot 10^{-12} \cdot 6,35 \cdot 10^{-20}} \cdot 1,41 =$$

$$= \frac{10,24 \cdot 10^{-38}}{705,87 \cdot 10^{-32}} \left(\frac{Кл^2}{м^2} = \frac{Кл \cdot В}{м} = \frac{Н \cdot м}{м} \right) = 0,014510^{-6} = 1,45 \cdot 10^{-8} Н$$

Міцність контакту між блоками фериту в зернах сталі визначимо шляхом розподілу

визначиться шляхом розподілу q на заряд ПВІ:

$$n = \frac{\epsilon\epsilon_0\psi_{эн}}{d_1 \cdot ze} \quad (3)$$

а відстань між ПВІ по вираженню:

$$a_0 = \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

де: z – валентності ПВІ й ПРІ; ϵ і ϵ_0 – відносна й абсолютна діелектричні проникності між ПВІ й ПРІ ($\epsilon = 1$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$); d_1 – відстань між ПВІ й ПРІ; e – заряд електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Величина d_1 дорівнює сумі радіусів катіона Fe^{2+} і аніона OH^- :

$$d_1 = (0,8 + 1,53) \cdot 10^{-10} = 2,33 \cdot 10^{-10} м.$$

Підставляючи зазначені постійні й d_1 в (3), отримаємо:

Відповідно, сила притягання між гідратованими ПВІ Fe^{2+} і ПРІ OH^- , за (1) дорівнює:

цієї сили на площу, що припадає на один ПВІ, за виразом:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

$$R_{\Phi} = \frac{f_{\text{ПР}}}{a_0^2}, \quad (5)$$

$$R_{\Phi} = \frac{1,45 \cdot 10^{-8}}{2,51^2 \cdot 10^{-18}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 2,3 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 2300 \text{ МПа}$$

відповідно до якого:

Подібним чином визначимо напругу в головці рейки від навантаження на вісь, рівної 25 т. Визначимо для цього відстань між гідратованими ПВЕ й ПРІ Fe^{2+} в одиничному контакті між блоками в зерні фериту (з урахуванням методу зображень [5, 6]): $d_1 = 2 \cdot 1,26 \cdot 10^{-10} = 2,52 \cdot 10^{-10}$ м.

$$\sigma_H = \frac{125000}{2 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 6,25 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right) = 625 \text{ МПа}$$

що значно менше міцності контакту між блоками в зернах фериту (2300 МПа), тобто міцності зерен фериту. Звідси, навантаження від колеса не може зруйнувати зерна фериту в сталі.

Навантаження від колеса не може розірвати й зв'язок усередині сталі між феритовими зернами, що здійснюється через цементитові комірки або цементитові прошарки, якщо вуглецю більш 0,8 % [8].

Викладене свідчить про коректність припущення про те, що рушійна сила пластичного деформування від механічних напружень полягає у виникненні в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування.

Розробка кількісних уявлень про механізм електрокорозії сталі виконано на основі її реальної структури і електроповерхневих властивостей, явищ і процесів.

З електростатики, потенціал і заряд взаємопов'язані виразами

$$U = Q/R = (В/м); \quad Q = U \cdot R \quad (6)$$

Отже, одиниця потенціалу (1 В) – це потенціал одиничного заряду (1 Кл) на відстані 1 м від нього. Одиничний потенціал можна також зв'язати з щільністю заряду на поверхні сфери одиничного радіусу.

Площа контакту колеса з рейкою, з урахуванням зношування головки рейки, становить приблизно 2 см². Напруга в головці рейки від навантаження на вісь 25 т при цьому складі:

$$q = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{U \cdot R}{4\pi R^2} = \frac{U}{4\pi R} \quad (7)$$

З урахуванням структури сталі, заряд при цьому зосереджений на поверхні зерен фериту цієї сфери. Всього на поверхні сфери розташовується наступна кількість зерен фериту:

$$n_3 = \frac{4\pi R^2}{b^2} \quad (8)$$

Кожне зерно має площу поверхні $s_3 = 6b_3^2$.

Отже, площа, на якій розподілиться заряд Q , дорівнює:

$$S_{Q,3} = s_{Q,3} \cdot n_{Q,3} = 6b_3^2 \cdot \frac{4\pi R^2}{b_3^2} = 24\pi R^2 \quad (9)$$

Проте в зерні заряд розташовується на поверхні блоку, кількість цих блоків на поверхні зерна:

$$n_{\text{Бл}} = \frac{b_3^2}{b_{\text{Бл}}^2} \quad (10)$$

При площі поверхні одного блоку $6b_{\text{Бл}}^2$, загальна площа поверхні блоків, яка припадає на одне

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

зерно:

$$S_{Бл} = s_{Бл} \cdot n_{Бл} = 6b_{Бл}^2 \cdot \frac{b_3^2}{b_{Бл}^2} = 6b_3^2 \quad (11)$$

Тобто повна поверхня, на якій осідають заряди, збільшується ще в шість разів і дорівнює:

$$S_{Q,Бл} = 6S_Q = 6 \cdot 24\pi R^2 = 144 \cdot \pi R^2 \quad (12)$$

З урахуванням цього щільність поверхневого заряду на сфері радіусом $R = 1$ м складе:

$$q = \frac{Q}{144\pi R^2} = \frac{U \cdot R}{144\pi R^2} = \frac{U}{144\pi R} = \frac{U}{144\pi} \quad (13)$$

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{Q}{144\pi R^2} \quad (14)$$

З електростатики $q = \frac{Q}{4\pi R^2}$, отже,

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{q}{24}; \quad q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \frac{q}{24} 4\pi R \quad (15)$$

$$\psi_{ЕП}^{PP} = 1,36 + 3,33 \approx 4,7 \text{ В.}$$

З точки зору електрокорозії це дуже високі величини.

Подібним чином визначені додаткові та загальні електроповерхневі потенціали стали залежно від зовнішнього потенціалу.

$$n_0^{PP} = \frac{q}{ze} = \frac{0,116}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,036 \cdot 10^{17} = 0,36 \cdot 10^{18} \left(\frac{1}{\text{м}^2} \right)$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{n_0^{PP}}} = \sqrt{\frac{1}{0,36 \cdot 10^{18}}} = \sqrt{2,75 \cdot 10^{-18}} = 1,66 \cdot 10^{-9} = 16,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Як бачимо, різко скорочується відстань між потенціалвизначальними іонами (без потенціалу $25,9 \cdot 10^{-10}$ м) за рахунок їх збільшення, та, відповідно, значне збільшення латерального електроповерхневого відштовхування між

З урахуванням (7)

$$q \cdot 4\pi R = U; \quad q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \frac{U}{24} \quad (16)$$

За аналогією з (16)

$$q_{ЕП}^{PP} \cdot 4\pi R = \psi_{ЕП}^{PP}, \quad \psi_{ЕП}^{PP} = \frac{U}{24} \quad (17)$$

Разом з тим електроповерхневий потенціал пов'язаний з щільністю поверхневого заряду за формулою плаского ПЕШ:

$$q_{ЕП}^{PP} = \frac{\epsilon \epsilon_0 \psi_{ЕП}^{PP}}{d_1} \quad (18)$$

При зовнішньому потенціалі $U = 80$ В:

$$\psi_{ЕП}^{PP} = \frac{80}{24} = 3,3 \text{ В}$$

Загальний потенціал і щільність поверхневого заряду:

$$q = \frac{1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,3}{2,52 \cdot 10^{-10}} \approx 0,116 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

Результати у вигляді графіків наведені на рис. 3.

Визначимо відстань між потенціалвизначальними іонами:

ПВІ, що викликає сильну електрокорозію сталі.

Розрахуємо відповідні силові і кінетичні характеристики електрокорозії при зовнішньому потенціалі $U = 80$ В ($a_0 = 16,6 \cdot 10^{-10}$ м).

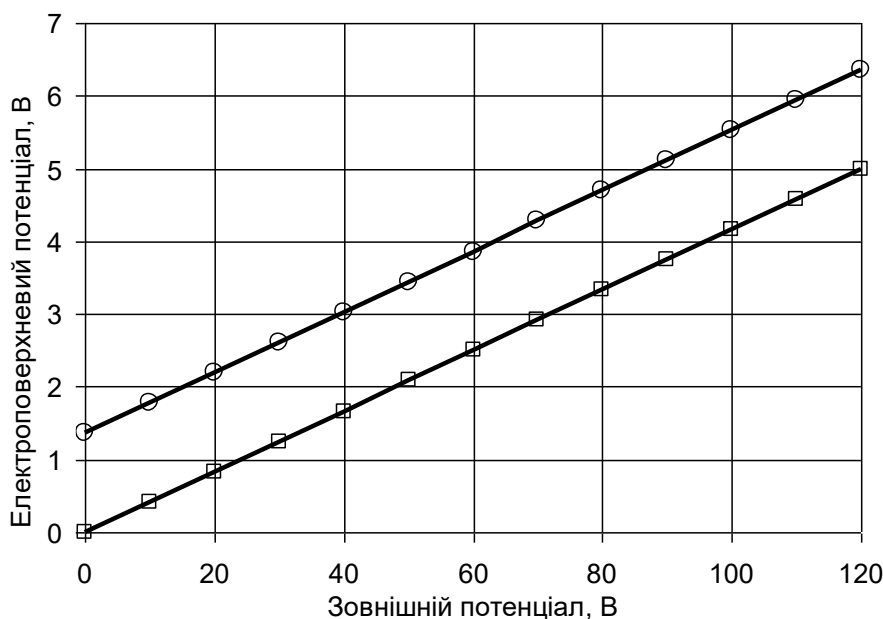


Рис. 3. Додаткові –□– і загальні –○– електроповерхневі потенціали сталі залежно від зовнішнього потенціалу

$$f_{LAT} = \frac{2^2 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38} \cdot 700 \cdot 10^{-10}}{1,116 \cdot 10^{-10} \cdot 16,6^3 \cdot 10^{-30}} = \frac{7,17 \cdot 10^3 \cdot 10^{-48}}{5,104 \cdot 10^3 \cdot 10^{-40}} \approx 1,41 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$$

$$V = \frac{2 \cdot z^2 e^2 \cdot (r_{Fe^{2+}} + d_{H_2O})}{4\pi\epsilon\epsilon_0 a_0^3 \cdot \eta \cdot b_B} = \frac{1,41 \cdot 10^{-8}}{6,92 \cdot 10^{-9}} = 2,03 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$\tau_{ПВІ} = \frac{a}{2 \cdot V} = \frac{16,6 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 2,03} \left(\frac{\text{М}}{\text{М}} \right) = 4,09 \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

Кількість атомів заліза в одному блоці фериту:

$$n_A = \frac{b^3}{d_{Fe}^3} = \left(\frac{7 \cdot 10^{-8}}{2,52 \cdot 10^{-10}} \right)^3 = 2,143 \cdot 10^9$$

Відповідно, час розчинення одного блоку фериту:

$$\tau_B = \tau_{ПВІ} \cdot n_A = 4,09 \cdot 10^{-10} \cdot 2,143 \cdot 10^9 = 0,88 \text{ с}$$

Кількість блоків фериту в одному зерні пб = $1,86 \cdot 10^6$ шт. Час розчинення одного зерна фериту:

$$\tau_3 = \tau_B \cdot n_B = 0,88 \cdot 1,86 \cdot 10^6 / 4 = 0,41 \cdot 10^6 \text{ с}$$

Кількість зерен по глибині корозії $h = 1$ мм:

$$n_h = \frac{10^{-3}}{13 \cdot 10^{-6}} = 77$$

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Час розчинення сталі на глибину один міліметр

$$\tau_{1,mm} = 0,41 \cdot 10^6 \cdot 77 = 3,16 \cdot 10^7 \text{ c} = 1 \text{ рік}$$

Цей час відповідає рівномірної корозії.

Подібним чином визначені час рівномірної корозії сталі на глибину один міліметр (рис. 4) та глибина корозії за один рік (рис. 5) в залежності від величини

зовнішнього потенціалу, з урахуванням експериментально встановленого максимального потенціалу на рейці 117 В [11].

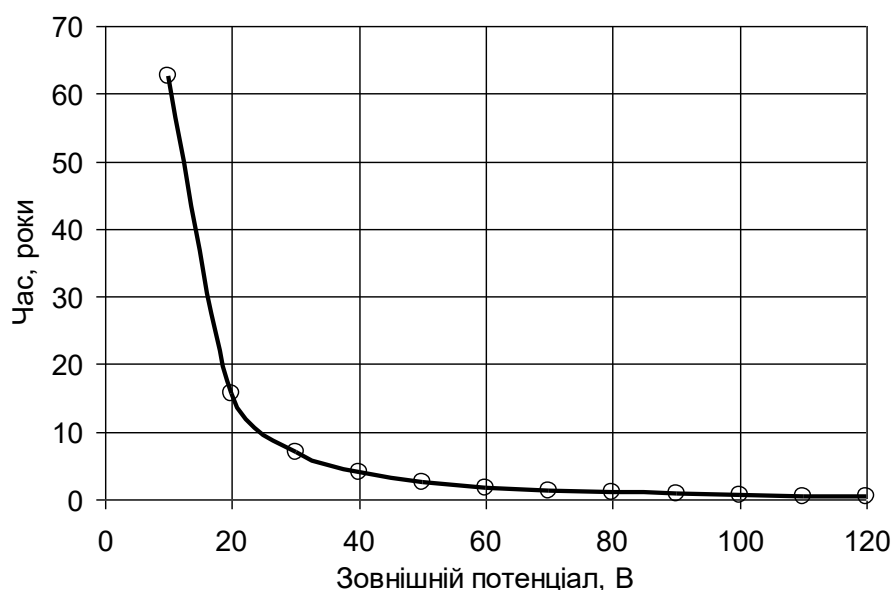


Рис. 4. Час рівномірної корозії сталі на глибину один міліметр в залежності від величини зовнішнього потенціалу

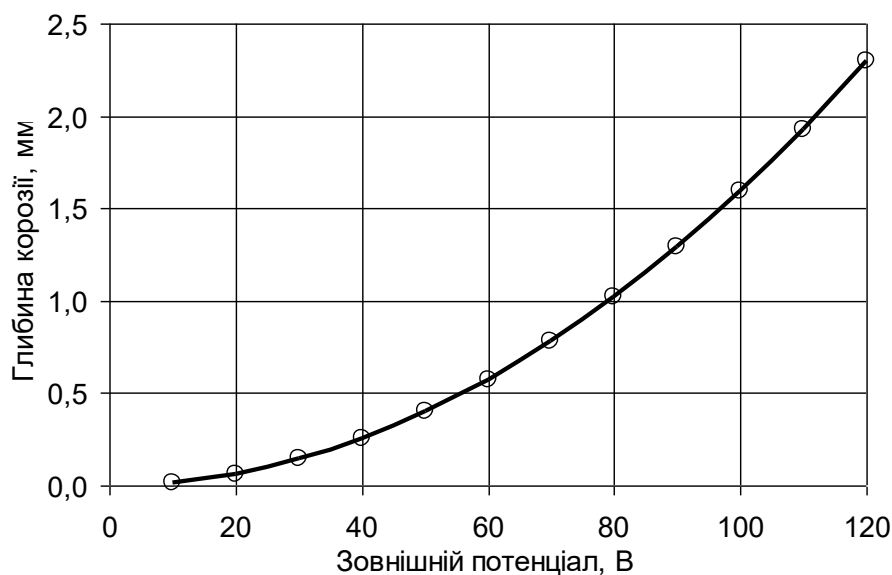


Рис. 5. Глибина рівномірної корозії сталі за один рік в залежності від величини зовнішнього потенціалу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

За рахунок того, що стуми витoku локалізовані по довжині і площі конструкції, за рахунок нерівномірності вологості і електропровідності ґрунтів для підземних споруд або стікання струму з рейок над рейковою підкладкою для залізничної колії, в окремих місцях електрокорозія може відбуватися ще швидше, за рахунок підвищення щільності струму витoku.

Висновки з дослідження. Розвинуто нові кількісні уявлення про міцність і електрокорозію сталі, зокрема рейок, з урахуванням її структури і електроповерхневих властивостей її структурних елементів.

Встановлено, що в основі механічних властивостей сталі лежить її зернистий полідисперсний характер структури, існування на поверхні зерен подвійних електричних шарів і електроповерхневого потенціалу, взаємодія між зернами у вигляді іон-електронного притягання в одиничних контактах, латеральне відштовхування між протіонами подвійних електричних шарів.

Теоретично доведено коректність припущення про те, що рушійна сила пластичного деформування від механічних напружень полягає у виникненні в прошарках між зернами фериту (і цементиту) латерального електроповерхневого відштовхування, що потребує подальших досліджень.

Розроблено кількісні уявлення про механізм корозії сталі, що дозволяє використовувати їх для оцінки ступеня та кінетики корозії сталевих конструкцій.

Встановлено, що під впливом зовнішнього електричного потенціалу на поверхні блоків і зерен сталі виникає додатковий електроповерхневий потенціал, що призводить до збільшення на поверхні феритового блоку (зерна) латерального електроповерхневого відштовхування між потенціалвизначальними іонами, що спричинює електрокорозію сталі.

Розраховано відповідні силові та кінетичні характеристики електрокорозії сталі при зовнішньому електричному потенціалі до 120 В.

Список використаних джерел

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии / В.С. Багоцкий. – М.: Химия, 1988. – 400 с.
2. Батаронов И.Л. Механизмы электропластичности / И.Л. Батаронов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1999. – № 10. – С. 93 – 99.
3. Громов В.Е. Электростимулированная пластичность металлов и сплавов / [В.Е. Громов, Л.Б. Зуев, Э.В. Козлов, В.Я. Целлермайер]. – М.: Недра, 1996. – 290 с.
4. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов / Н.А. Измайлов. – М.: Химия, 1976. – 488 с.
5. Каминский М. Атомные и ионные столкновения на поверхности метала / М. Каминский. – М.: Мир, 1967. – 216 с.
6. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Гостехтеориздат, 1957. – 246 с.
7. Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: Коллоидно-химические основы: дисс. ... доктора техн. наук: 05.23.05 / Андрей Аркадиевич Плугин. – Х., 2005. – 442 с.
8. Плугин А.А. Теоретические предпосылки создания количественной теории электрокоррозии стали и защиты от нее / [А.А. Плугин, А.Н. Плугин, Ю.Н. Горбачова и др.] // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 129. – С. 169 – 173.
9. Плугин А.Н. Механизм формирования структуры, прочности и долговечности стали и железобетона на основе электроповерхностного потенциала простых веществ / [А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Плугин и др.]. // Науковий вісник ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2010. – № 14. – С. 250 – 270.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

10. Плуґин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс. ... доктора хим. наук: 02.00.11 / Аркадий Николаевич Плуґин. – К., 1989. – 282 с.
11. Плуґин Д.А. Оцінка можливого впливу замкненого простору в тунелі на величину потенціалу на рейці / [Д.А. Плуґин, А.М. Плуґин, А.А. Плуґин, О.С. Тіряєв] // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 127, С. 175 – 183.
12. Спицын В.И. Электро-пластическая деформация металлов / В.И. Спицын, О.А. Троицкий. – М.: Наука, 1985. – 160 с.
13. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии / Д.А. Фридрихсберг. – Л.: Химия, 1984, 337 с.
14. Plugin A.N. Research of influence of leakage currents and stray currents on railways on buildings and constructions / [A.N. Plugin, O. Plugin, O. Borzyak et al.]. // 17 Internationale Baustofftagung, 23 – 26 September 2009, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar, 2009. – Band 2. – P. 1151 – 1156.
15. Plugin D.A. Electro-corrosion of constructions of bridges on electrified by a direct current sections of railways / [D.A. Plugin, A.N. Plugin, Al.A. Plugin, O.S. Borzyak] // Nauka i Studia. Techniczne nauki budownictwo i architektura nowoczesne informacyjne technologie. – Przemysł, 2013. – № 30 (98). – S. 69 – 77.
16. Plugin D.A. Electro-corrosion of constructions of railway tunnels / [D.A. Plugin, A.N. Plugin, Al.A. Plugin, O.S. Borzyak] // Materiály IX mezinárodní vědecko-praktická konference «Aplikované vědecké novinky – 2013». – Díl 13. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura, 27 Červenců – 05 Srpna 2013, Praha, Ceska republika: Publishing House «Education and Science» s.r.o. – Praha, 2013. – P. 52 – 58.

Плуґин Дмитро Артурович, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Plugin Dmytro A., Doct. of Techn. Sciences, Associated Professor, Professor of Building Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 057 730-10-63. E-mail: plugin-da@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 539.261

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТАХ: ВПЛИВ НАДЛИШКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ І МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ

Инж. О.А. Забіяка

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТАХ: ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ

Инж. А.А. Забияка

INCREASED DURABILITY WITHOUT BALLAST BRIDGE TRACK ON CONCRETE PLATES: THE EFFECT OF ELECTRIC CHARGES AND EXCESS STRESS ON CRACKING

Eng. O.A. Zabiyaka

Проведене дослідження впливу надлишкових електричних зарядів і механічних напружень на тріщиноутворення в плитах безбаластного мостового полотна залізничних мостів. Використано методи обчислюваного і натурного експерименту. Доведена неможливість утворення тріщин у плитах, що відповідають нормативним вимогам, в результаті лише механічних навантажень.

Ключові слова: залізобетонна плита, надлишковий електричний заряд, механічне навантаження, тріщиноутворення

Выполнены исследования влияния избыточных электрических зарядов и механических напряжений на трещинообразование в плитах безбалластного мостового полотна железнодорожных мостов. Использованы методы вычислительного и натурного эксперимента. Доказана невозможность образования трещин в плитах, соответствующих нормативным требованиям, в результате только механических нагрузок.

Ключевые слова: железобетонная плита, избыточный электрический заряд, механическая нагрузка, трещинообразование

Studies of the effect of electric charges and excess stress on cracking in plates of ballastless bridge deck of railway bridges have been met. Methods of computing experiment, field experiment on Starokonstantinov plant of concrete sleepers were used. The impossibility of the formation of cracks in the plates that meet the regulatory requirements, as a result of mechanical loads only been proven. It is found that the cause of crack formation is excessive electric charges.

Keywords: reinforced concrete plate, the excess electrical charge, mechanical load, cracking

Вступ

В результаті обстежень експлуатованих мостів з безбаластовим мостовим полотном БМП, виконуваних останні десятиліття в Україні та інших країнах, відмічене збільшення тріщиноутворення у плитах БМП. При цьому причини тріщин не є

очевидними, а їх утворення не пояснюється сучасними уявленнями про поведінку бетону і конструкції в таких умовах.

У роботі розроблені нові теоретичні уявлення, згідно з якими основним фактором тріщиноутворення у плитах БМП є вплив надлишкових зарядів Землі, зокрема на дні

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

русла річки, які переходять у конструкції мосту. Величини цих зарядів значні, вони еквівалентні напруженню електричного поля у межах декількох сотень В/м. Утворення тріщин від напружень, створюваних високоміцними шпильками, які вважають головним чинником тріщиноутворення, не відповідає дійсності.

Мета дослідження – визначення впливу факторів від натягу високоміцних шпильок і від надлишкового заряду Землі на утворення тріщин в плитах БМП.

Матеріали досліджень

Для перевірки цих уявлень, зокрема виявлення можливості утворення тріщин у плиті БМП від сили натягу високоміцних шпильок і навантаження на вісь колеса від потягів, проведено обчислювальний експеримент методом скінчених елементів у переміщеннях за допомогою програмного комплексу ЛПРА 9.6. Як прокладний шар приймали соснову дошку, бетон класу С32/40 і полімеркомпозиційний матеріал. З кожним варіантом прокладного шару сполучали три варіанти сили натягу високоміцних шпильок – 5, 10 і 13 Тс. Навантаження плити здійснювали ступенями до максимальної величини 25 Тс кроками по 5 Тс.

У розрахунку було прийнято, що надлишковий заряд Землі призводить до перевищення нормативного навантаження на плиту БМП за законами будівельної механіки. Для виявлення впливу такого перевищення нормативного навантаження на утворення тріщин у плиті безбаластового мостового полотна, улаштованого у відповідності до нормативних вимог. Розрахункову схему склали із 13790 фізично нелінійних армованих пластинчатих кінцевих елементів *KEN*№234, *KEN*№236.

$$L_x = \sqrt{L_0^2 + h^2} = \sqrt{20^2 + 0,012^2} = 20,0000036, \text{ см,}$$

а подовження:

$$\Delta L = 0,0000036 \text{ см} = 3,6 \times 10^{-6} \text{ см} = 360 \text{ \AA.}$$

Узагальнені результати розрахунку максимальних величини напружень і деформацій, які виникають в плиті БМП в залежності від модуля деформації (пружності) прокладного шару та сили затягування шпильок, наведено на графіках рис.1. Згідно з цими графіками величини розтягувальних напружень досягають 1,8 МПа, що менше нормативного опору бетону на розтяг 2,10 МПа і міцності бетону на згин.

Слід зазначити, що ДБН не містить показника міцності бетону на згин. Міститься величина нормативного опору на розтяг – 2,10 МПа. За [1] міцність бетону на розтяг становить 1/10–1/17, а міцність на згин – 1/6–1/10 міцності на стиск. Тобто міцність на згин у 1,7 разів вища, ніж на розтяг. Відповідно, розрахунковий опір бетону на згин класу С32/40 за 2 групою граничних станів 2,10 МПа складатиме близько $2,1 \times 1,7 = 3,6$ МПа.

Бетон у плиті БМП має ще більш високу міцність на згин у порівнянні з міцністю на розтяг. Це обумовлено тим, що стандартна призма-зразок має розмір 10×10×40 см, тобто відношення довжини до висоти і ширини зразка складає 4. У плиті БМП на ділянці роботи в зоні шпильки це відношення наближається до 1. Отже, фактичний опір бетону згину повинен бути значно більшим, ніж міцність на згин, і набагато більшим, ніж міцність на розтяг.

Виконаємо відповідний розрахунок. Максимальний прогин плити на ділянці довжиною $L_0 = 20$ см в зоні шпильки становить $h = 0,12$ мм (рис.1). Відповідно, довжина цієї ділянки при розтягуванні складе:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

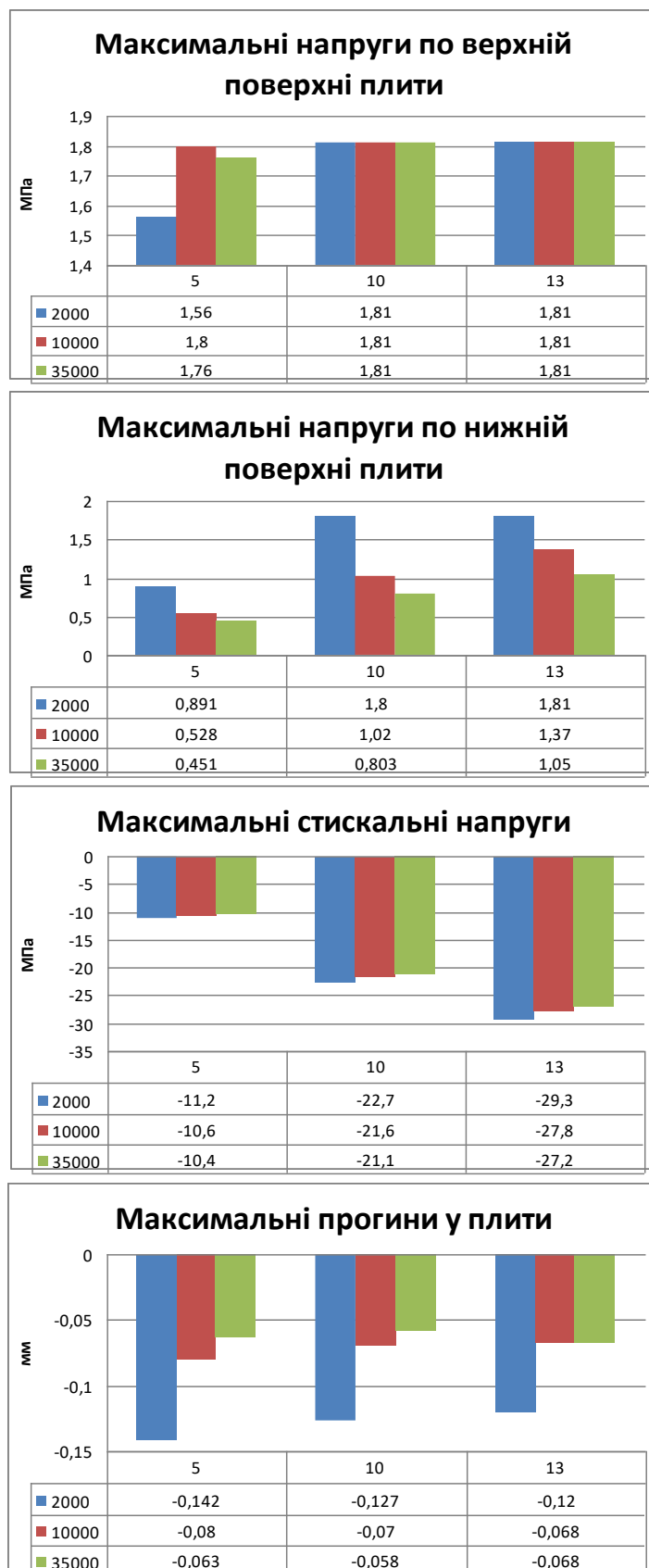


Рис. 1. Максимальні величини напружень і деформацій у плиті БМП в залежності від модуля деформації прокладного шару та сили затягування шпильок

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

спеціально розробленою методикою. Пливу піддавали зовнішньому навантаженню до 38 Тс на вісь. Вимірювання розтягувальних і стискуючих напружень на поверхнях граней

пливи здійснювали за допомогою дротяних тензометричних датчиків опору, розташованих за схемою, наведеною на рис.3.

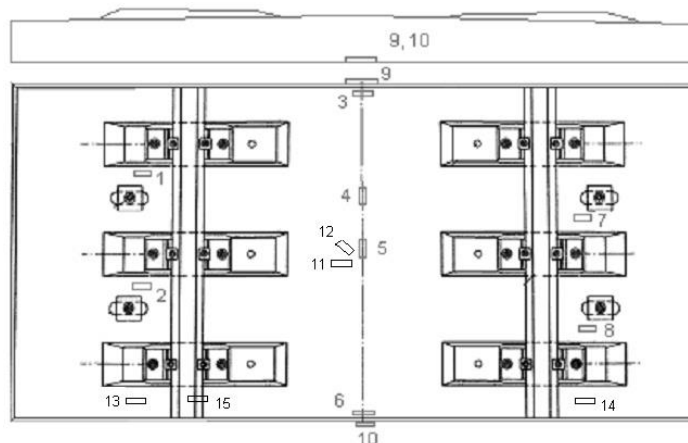


Рис. 3. Схема розташування тензометричних датчиків на плиті БМП

В результаті проведених випробувань та аналізу їх результатів вплив зовнішнього навантаження на напруги і деформації у місцях розташування всіх датчиків, крім 1 і 2 (рис.3), не виявлений. Відзначено вплив сили затягування шпильок на величину напружень у місцях розташування датчиків 1 і 2. Підтверджено, що у зоні високоміцних шпильок виникають значні розтягувальні напруження величиною до 12 МПа, проте утворення тріщин у плитах БМП під час випробування не відмічене.

Це підтвердило результати обчислюваних та інших експериментів – незважаючи на значні напруження, які вважають розтягувальними, у зоні отворів для високоміцних шпильок тріщини в основному не утворюються. Це обумовлене тим, що розрахункова модель досліджуваної ділянки плити не відбиває її дійсної роботи, яка є сполученням згину зі зрізанням та зминанням, для яких міцність бетону набагато перевищує експериментальні та дійсні напруження в плитах БМП.

Для виявлення впливу електричного потенціалу і створених ним електричного поля і надлишкових електричних зарядів на міцність бетону розроблено оригінальну методику, яка полягає у випробуванні серії

однакових зразків: контрольних – без впливу потенціалу і дослідних – під впливом штучно створеного потенціалу. Експериментально встановлено, що накладення постійного електричного поля на конструкцію з бетону невисокої міцності з високими В/Ц не чинить негативного впливу на міцність бетону при розтягу і тріщиностійкість конструкції. Накладення електричного поля на конструкцію з бетону високої міцності з низьким В/Ц може призвести до зниження міцності бетону на розтяг (приблизно на 14 %) і, відповідно, тріщиностійкості конструкції. Надане пояснення цьому явищу з позицій фізико-хімічної механіки [2].

Висновки та рекомендації

Доведена неможливість утворення тріщин у плитах безбаластного мостового полотна, що відповідають нормативним вимогам, в результаті лише механічних навантажень. Встановлено, що одним із основних факторів утворення тріщин є надлишкові електричні заряди, які наводяться на безбаластне мостове полотно.

Розроблено інструктивний документ, що використовується на залізницях України для збільшення довговічності експлуатації плит безбаластового мостового полотна та

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

підвищення безпеки руху, а саме тріщиностійкості плит безбаластного «Рекомендації із забезпечення мостового полотна» / ЦП 0224 [3].

Список використаних джерел

1. Марка бетона по прочності [Електронне джерело] // Режим доступу: [aquabios.ru](http://aquabios.ru/aquabios.ru/information/slovar-m/marka_beton_proshnos)

2. Пługин, Ал.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня / Ал.А.Пługин, А.А.Забияка, В.В.Перестюк, С.Г.Нестеренко, А.А.Пługин // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип.130. – С.56–63.

3. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна / ЦП Укрзалізниця; А.А.Пługин, А.М.Пługин, С.В.Мірошніченко, О.А.Калінін, Д.А.Пługин, В.А.Лютій, Г.О.Линник, О.В.Романенко, О.А.Забіяка, І.Г.Корнієнко, О.С.Борзяк. – Київ, 2010. – Затв.08.06.2010, нак.№075-ЦЗ. – 42 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Пługин А.А.

Забіяка Олександр Анатолійович, інженер, заст. начальника центру діагностування інженерних споруд Головного управління колійного господарства, Державна адміністрація залізничного транспорту України (Укрзалізниця); Тел.: (044) 465 25 77, E-mail: zabiyaka@uz.gov.ua

Zabiyaka Oleksandr, engineer, deputy head of centre for diagnosing engineering structures of the Main directorate of track facilities, State Administration of Railway Transport of Ukraine; Tel.: (+38 044) 465 25 77; E-mail: zabiyaka@uz.gov.ua

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 625.1

ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІМЕРКОМПОЗИЦІЙНОГО ПРОКЛАДНОГО ШАРУ ДЛЯ ПЛИТ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА.

Канд. техн. наук С.В.Мірошніченко, інж. Н.М.Партала

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИМЕРКОМПОЗИЦИОННОГО ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ ДЛЯ ПЛИТ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА.

Канд. техн. наук С.В.Мірошніченко, інж. Н.Н.Партала

DYNAMIC TESTS POLIMERCOMPOSITION CUSHIONING LAYER FOR OF THE PLATES BALLASTLESS BRIDGE

PhD Miroshnichenko Sergii V., eng. Partala Natalia N.

Наведено результати динамічних випробувань полімеркомпозиційного прокладного шару для плит безбаластного мостового полотна, як перспективної конструкції з підвищеними характеристиками довговічності, як самої конструкції так і конструкцій рейкової колії.

***Ключові слова:** плити безбаластного мостового полотна, полімер композиційний прокладний шар, суха суміш, динамічні випробування*

Приведены результаты динамических испытаний полимеркомпозиционного прокладного слоя для плит безбалластного мостового полотна, как перспективной

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

конструкции с повышенными характеристиками долговечности, как самой конструкции, так и конструкции рельсового пути.

***Ключевые слова:** плиты безбалластного мостового полотна, полимер композиционный прокладной слой, сухая смесь, динамические испытания*

The results of dynamic tests polymerkompozytsiynoho cushioning layer for bridge plates undiluted canvas as prospective design with high durability characteristics of both the design and construction of rail tracks.

For testing it was determined polymerkompozytsiynoho compound that is able to withstand dynamic loads without appearances-of defects that are further able to reduce the durability of a cushioning layer structures and bridges and tracks.

Best performance epoxy composition was Sikadur-42 HE. Cushioning layer of this composition passed the full range of tests available without defects.

Polymer dry mixture SikaGrout-316 also withstood a full range of testing, but it had some cracks that do not affect the bearing capacity of the construction assembly.

Dry mix Emaco Fast Fluid small cracks in various directions and subsequent testing it is possible using compliant with metal mesh.

***Keywords:** boards bridge undiluted canvas, polymer composite cushioning layer, dry mix, dynamic tests*

Вступ. Сполучення між залізобетонними плитами безбалластного мостового полотна і головними або поздовжніми балками металевих мостів виконується у вигляді суцільного прокладного шару по всій довжині балок або на дискретних опорах, які влаштовуються по осі верхнього поясу балки під кожною підрейковою основою плити. Як суцільний прокладний шар можуть використовуватися: армований цементно-піщаний розчин або дрібнозернистий бетон, безусадкова швидкотвердіюча бетонна суміш наливного типу з гумовою підкладкою, антисептовані дошки або фанера з гумовими смугами і т.п.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

На залізницях України експлуатуються значна кількість металевих мостів з мостовим полотном на залізобетонних плитах БМП. Більшість з них укладені на дерев'яно-гумовому прокладному шарі. Це застаріле конструктивно-технологічне рішення призводить до передчасного виходу плит з ладу, необхідності заміни дерев'яних елементів кожні 7–10 років. Запропоноване раніше конструктивно-технологічне рішення полімеркомпозиційного прокладного шару

забезпечує набагато більшу довговічність прокладного шару, плит БМП і мостового полотна в цілому. Проте технологія улаштування такого шару поки що залишається недосконалою, оскільки передбачає використання доволі складної комплексної опалубки, що ускладнює її застосування та потребує збільшення тривалості «вікон».

Удосконалена технологія улаштування полімеркомпозиційного прокладного шару під збірним та збірно-монолітним залізобетонним безбалластним мостовим полотном збільшить довговічність конструкції верхньої будови колії та підвищить її надійність, виключить необхідність у «вікнах» для виконання ремонтних робіт з заміни прокладного шару.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконаний аналіз сучасних конструкцій [1-3] дозволив зробити висновки о доцільності використання жорсткого прокладного шару, який дозволяє зменшити напруги у всіх елементах мостового полотна, і в зв'язку з цим подовжити їх довговічність.

Базуючись на використанні сучасних матеріалів [4] та комп'ютерне моделювання [5] зроблено висновок про можливість

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

використання як полімеркомпозиційних матеріалів на базі епоксидної смоли, так і неорганічних матеріалів на базі цементів

Мета роботи – визначення полімер композиційного складу, який спроможний витримувати динамічні навантаження без виникнення дефектів, які в подальшому в

зможі зменшити довговічність як прокладного шару, так і конструкцій мостової споруди і колії.

Розробка методики випробувань

Динамічні випробування здійснювали на масштабних моделях, за допомогою випробувальної машини МУП-50 (рис.1)



Рис. 1 Динамічні випробування масштабної моделі вузла сполучення верхньої полиці подовжньої балки моста, прокладного шару і плити БМП за допомогою випробувальної машини МУП-50

Діапазон динамічного навантаження призначали виходячи із таких міркувань. На експлуатованих мостах максимальне динамічне навантаження на одну підрейкову площадку складає 15 тс. Враховуюче те, що підрейкові площадки в існуючій плиті БМП розташовуються з шагом 50 см, а ширина прокладного шару повинна бути не менше 20 см, фактичне розподілене навантаження на прокладний шар складе 15 кгс/см².

Верхній поріг динамічного навантаження встановлено 15 тс, нижній поріг – 2 тс, частоту – 500 Гц, тривалість випробування – 2 млн. циклів. Випробування починали через 24 години твердіння прокладного шару і здійснювали по 6 годин на добу до досягнення 2 млн. циклів.

Вплив динамічного навантаження визначали за утворенням тріщин, відколів шляхом візуального огляду кожні 6 годин випробувань.

Для випробувань були використані: полімерцементна суха суміш Emaco Fast Fluid; полімерцементна суха суміш SikaGrout-316; епоксидна композиція Sikadur-42 HE.

Дослідження прокладного шару із полімерцементної сухої суміші Emaco Fast Fluid

Хід випробувань і розвиток пошкоджень:

- 106,5 тис. циклів – видалили джгути опалубки, пошкодження не спостерігаються;

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

- 376,5 тис. циклів – утворення у прокладному шарі з однієї сторони поперечної тріщини (рис. 2), яка розвивалась протягом наступних 200 тис. циклів;

- 576,5 тис. циклів – тріщина розвинулась до наскрізної;

- 1241,5 тис. циклів – пошкодження прокладного шару у вигляді відколу ребра під звисом плити БМП і роздроблення у контактній зоні з металевою балкою (рис. 3);

- 1,5 млн. циклів – збільшення розкриття тріщини до 1 мм, утворення в прокладному шарі ще декількох тріщин;

- 2 млн. циклів – випробування припинене, модель розібрана.

Результати огляду (рис. 4 – 5):

- зчеплення прокладного шару з металом балки слабе;

- з бетону плити прокладний шар знято в основному без зусиль, в окремих місцях за допомогою перфоратора;

- контакт прокладного шару з бетоном слабкий, зчеплення відсутнє крім місця заливного отвору, нерівності бетону матеріал прокладного шару не заповнив;

- контактна поверхня прокладного шару з боку плити БМП глянцева з ділянками затверділого цементного молока;

- у прокладному шарі спостерігались поперечні і поздовжні тріщини;

- локальне руйнування (відколювання) прокладного шару під тріщиною у залізобетонній плиті БМП (в місці концентратора напруги) – слід очікувати таке ж руйнування навколо високоміцних шпильок;



Рис. 2 Утворення у прокладному шарі з Emaco Fast Fluid поперечної тріщини після 376,5 тис. циклів динамічних випробувань

Дослідження прокладного шару із полімерцементної сухої суміші SikaGrout-316

Хід випробувань і розвиток пошкоджень:

- джгути опалубки видалені до початку випробувань;

- 380 тис. циклів – утворення у прокладному шарі з однієї сторони поперечної тріщини;

- 2 млн. циклів – інших, крім вказаної тріщини, пошкоджень не виявлено; випробування припинене, модель розібрана.

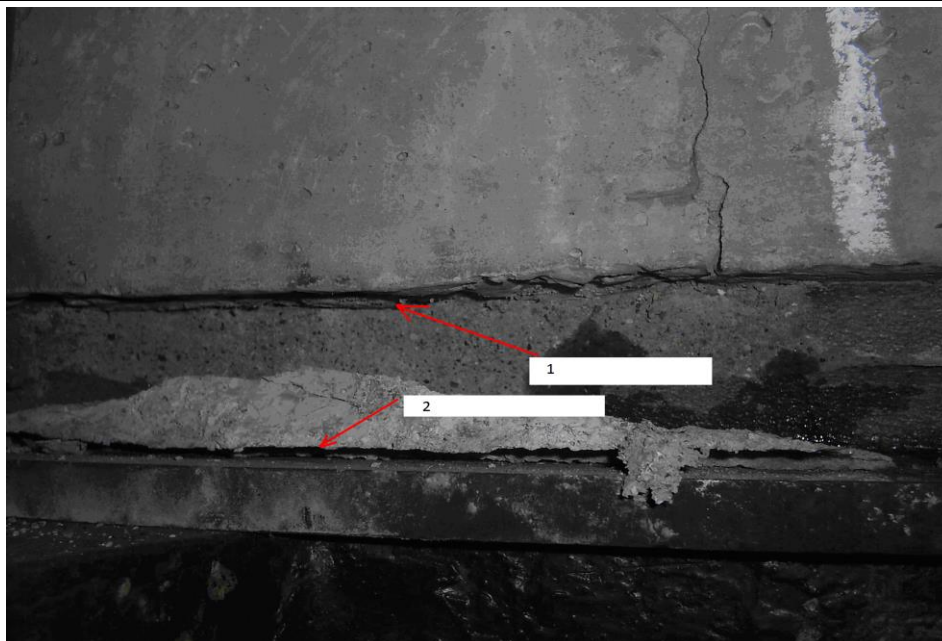


Рис. 3 Пошкодження прокладного шару з Emaco Fast Fluid після 1241,5 тис. циклів динамічних випробувань: 1 – відкол ребра прокладного шару під звисом плити БМП; 2 – роздроблення прокладного шару у контактній зоні з металевою балкою



Рис. 4 Локальне руйнування прокладного шару з Emaco Fast Fluid в місці концентратора напруги – тріщини в залізобетонній плиті БМП

Результати огляду (рис. 6 – 7):

- зчеплення прокладного шару з металом балки збереглося, матеріал відділявся від металу лише за допомогою молотка;

- добре зчеплення прокладного шару з бетоном плити БМП, після видалення прокладного шару на бетоні відмічались

його залишки; матеріал заповнив всі нерівності бетону і піднявся в отвір для витиснення повітря на 2–3 см;

- у прокладному шарі спостерігались 2 поперечні тріщини (рис.7) – одна наскрізна, за якою при розбиранні моделі прокладний шар розділювався на окремі частини, друга не наскрізна.



Рис. 5 Поздовжні і поперечні тріщини у прокладному шарі з Emaco Fast Fluid після завершення динамічних випробувань



Рис. 6 Прокладний шар із SikaGrout-316 після завершення динамічних випробувань і розбирання моделі: стан добрий, виявлено 2 поперечні тріщини з розкриттям не більше 0,3 мм



Рис. 7 Прокладний шар із SikaGrout-316 після завершення динамічних випробувань і розбирання моделі: поверхня, контактна з бетоном плити БМП – при розбиранні моделі прокладний шар по наскрізній тріщині розділювався на окремі частини, мастило просочило прокладний шар в районі волосяної тріщини.

Дослідження прокладного шару із епоксидної композиції Sikadur-42 HE

Паралельно з випробуваннями композиції Emaco Fast Fluid виконували випробування складу Sikadur-42 HE, однак в більш жорстких умовах (рис. 8). На поверхню балки було нанесено шар композиції товщиною 2 см. Навантаження передавалося через металеву круглу підкладку діаметром 15 см, тобто площа на яку передавалося навантаження складала 177 см², що в 5,6 разів менше ніж у складу з нижньої сторони моделі.

Випробування складу Sikadur-42 HE витримав без дефектів, та показав добрий запас міцності. Тріщин, розшарувань не відмічено (рис. 9).

Висновки і рекомендації

1. Найліпші показники мала епоксидна композиція Sikadur-42 HE. Прокладний шар з цієї композиції витримав повний комплекс випробувань без наявних дефектів.

2. Полімерцементна суха суміш SikaGrout-316 також витримала повний комплекс випробувань, але в ній виникли деякі тріщини, які не впливають на несучу здатність конструкції в зборі. Експлуатація такої суміші у якості прокладного шару допустима після експлуатаційної перевірки в польових умовах.

3. Суха суміш Emaco Fast Fluid мала тріщини в різних напрямках і подальше випробування її можливо з використанням сумісно з металевою сіткою.

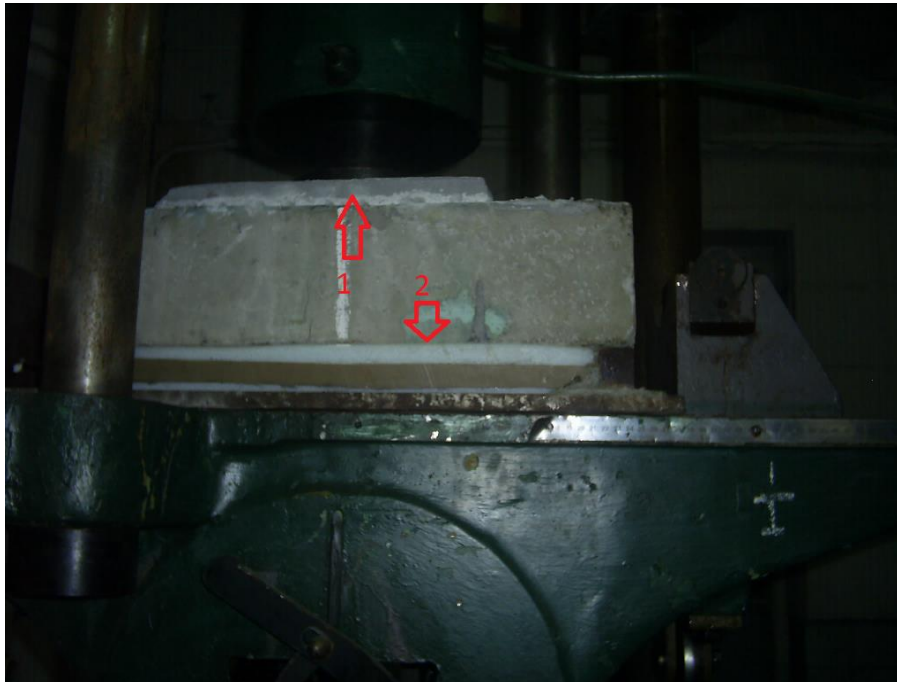


Рис. 8 Випробування складу із епоксидної композиції Sikadur-42 HE. (1 - склад Sikadur-42 HE; 2 – склад з нижньої сторони моделі).



Рис. 9 Прокладний шар із епоксидної композиції Sikadur-42 HE після завершення динамічних випробувань і розбирання моделі

Список використаних джерел

1. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна / С.В. Мірошніченко // Зб.наук.праць УкрДАЗТ.- Харків: УкрДАЗТ, 2009.- Вип.109.- С.113-119
2. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна / С.В.Мирошніченко, А.Н.Плугин, А.А.Плугин, И.Г.Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. збірник наук.праць.- К.: ДП НДБК, 2009.-

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Вип.72.- С.457-464.

3. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна / С.В.Мирошниченко, А.Н.Плугин, А.А.Плугин, И.Г.Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. збірник наук.праць.- К.: ДП НДІБК, 2009.- Вип.72.- С.457-464.

4. Цементні та полімер цементні дрібнозернисті бетони для прокладного шару безбалластного мостового полотна із залізобетонних плит/ А.А.Плугин С.В.Мирошниченко, О.А.Калінін, Н.М.Партала, С.Г.Нестеренко, В.В.Перестюк// Зб.наук.праць УкрДАЗТ.- Харків: УкрДАЗТ, 2014.- Вип.148.- С.39-45 (Index Copernicus).

5. Аналіз напружено-деформованого стану плит безбалластного мостового полотна і прокладного шару під ними/ С.В.Мирошниченко, А.А.Плугин О.В.Лобяк, О.А.Забіяка, Г.О.Линник, Т.Шуба// Зб.наук.праць УкрДАЗТ.- Харків: УкрДАЗТ, 2014.- Вип.148.- С.104-110 (Index Copernicus).

Рецензент д-р техн. наук Плугін Д.А.

Мирошніченко Сергій Валерійович к-т техн. наук, доцент кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-64 E-mail: smirosh70@yandex.ru

Партала Наталія Миколаївна завідувач лабораторії кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-63 E-mail: natabim@mail.ru

Miroshnichenko Sergii V., cand. of techn. sciences, docent, Head of Branch Research Laboratory of corrosion and corrosion protection of structures of railways, Ukrainian State University of Railway Transport.; Tel. (+38 057) 730 10 64, E-mail: smirosh70@yandex.ru

Partala Natalia M..head of the Laboratory department building materials, structures and buildings Ukrainian State University of Railway Transport.; Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: natabim@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 626:691.5

АЛЮМИНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Инженеры Ю.А. Суханова, Н.Н. Партала, д-р техн. наук А.А. Плугин, д-р-инж. Х.-Б. Фишер

АЛЮМІНАТНІ ЦЕМЕНТИ ДЛЯ РЕМОНТУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Инженеры Ю.А. Суханова, Н.Н. Партала, д-р техн. наук А.А. Плугин, д-р-инж. Х.-Б. Фишер

ALUMINATE CEMENT FOR THE RECONSTRUCTION OF THE HYDRAULIC STRUCTURES

Engineers Yu.A.Sukhanova, N.N.Partala, DSc A.A. Plugin, Dr-Ing. H.-B. Fischer

Выполнен анализ материалов, пригодных для ремонта подводных частей гидротехнических сооружений. В результате этого анализа, а также экспериментальных исследований влияния модифицирующих добавок на сроки схватывания, для разработки ремонтных композитов выбрали глиноземистый цемент.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, подводная часть, бетон, ремонт, алюминатный цемент.

Виконано аналіз матеріалів, придатних для ремонту підводних частин гідротехнічних споруд. В результаті цього аналізу, а також експериментальних досліджень впливу модифікуючих добавок на терміни тужавлення, для розробки ремонтних композитів обрано глиноземистий цемент.

Ключові слова: гідротехнічна споруда, підводна частина, бетон, алюмінатний цемент

Hydraulic engineering constructions counteract the pressure of the water. The analysis of materials suitable for the reconstruction of their underwater parts has been made. There are a lot of composites and methods, but before using them we must take measures for dewatering an affected part of the construction. As a result of this analysis, as well as experimental researches aimed on how modifying additives influence on the setting time, we have chosen an aluminous cement as a base for repair composites that we would like to invent. Aluminous cement is well known quick hardening cement, but at the same time the hardening processes is not fast enough in the conditions of significant filtration. Regulation of setting time can be made by addition of a $Ca(OH)_2$ and C_3A .

Keywords: hydraulic engineering constructions, underwater part, concrete, reconstruction, aluminous cement.

Актуальность темы. Спрос на энергоносители и необходимость решать экологические проблемы в последние годы увеличили интерес к альтернативным источникам энергии, среди которых малые ГЭС (МГЭС). Согласно [1] к МГЭС относятся станции установленной мощностью от 0,1 до 30 МВт с диаметром рабочего колеса гидротурбины не более 3 м. В 60-х на территории Украины эксплуатировалось порядка 1600 подобных станций, но в период увлечения гигантоманией, которая выразилась в строительстве Днепровского каскада ГЭС, и дешевизны ресурсов, большая часть МГЭС были остановлены, оборудование демонтировано. В результате к началу 2010 г. на территории Украины продолжало работать всего около 10 МГЭС, остальные – законсервированы, но, фактически, безнадзорно разрушались (рис.1). Из инженерного опыта, а так же в литературных источниках [4] показано, что наиболее трудноустраняемые повреждения накапливались в подводных конструкциях сооружений.

Стимулирование со стороны государства в виде назначения выгодного

тарифа на покупку электроэнергии, выработанной альтернативными источниками, в т.ч. МГЭС, привело к увеличению числа генерирующих станций за счет расконсервации наиболее хорошо сохранившихся МГЭС. По состоянию на 1 марта 2012 г. в реестре значилось уже 72 действующих МГЭС суммарной мощностью 110 МВт. Это составляет около 24,4 % от потенциальной мощности около 450 МВт, которую можно получить за счет ресурсов малых рек Украины [3]. Дальнейший рост выработки электроэнергии сегментом малой энергетики возможно обеспечить либо путем строительства новых объектов на неосвоенных водотоках (реках Карпат и т.д.) и гидроузлах неэнергетического значения (плотинах, водохранилищах и т.д.), либо реконструкции существующих объектов. В современных условиях высокого риска инвестирования в новое строительство особое значение приобретает ремонт и реконструкция существующих МГЭС. Поэтому перед инвесторами стоит актуальный вопрос по выбору материалов и технологий ремонта, которые обеспечат эффективную экономически выгодную эксплуатацию МГЭС.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

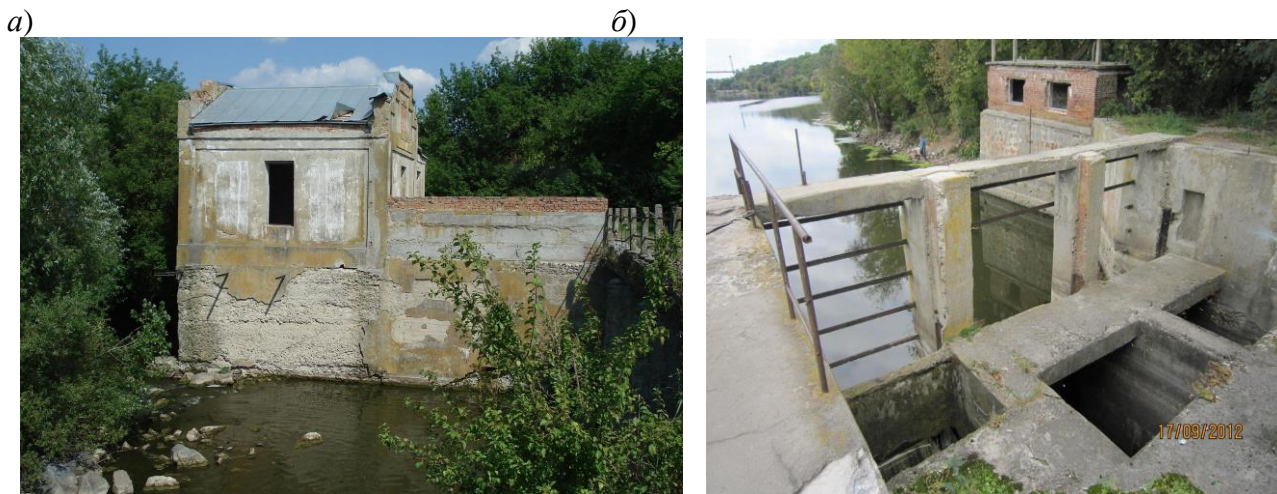


Рис.1 Современное состояние малых гидроэлектростанций: а – Новолабуновской на р. Хомора, Хмельницкая обл.; б – в г. Житомир на р. Тетерев

Цель работы – выбор вяжущего вещества для разработки композитов для ремонта подводной части гидротехнических сооружений без их осушения.

Анализ условий эксплуатации подводной части гидротехнических сооружений. Главной особенностью работы гидротехнических сооружений является их противодействие напору воды. Под действием градиента напора происходит движение жидкости в бетонном массиве, неизбежно имеющем пассивные трещины и пустоты, из верхнего бьефа гидроузла в нижний бьеф. Движение фильтрационного потока (флюида), по статистике, чаще всего является причиной преждевременного вынужденного ремонта бетонных сооружений. Флюид, в зависимости от химического состава воды, выносит свободную известь (выщелачивание, коррозия I вида) и/или заносит химические соединения, которые кристаллизуются под испаряющей поверхностью или вступают в реакцию с продуктами гидратации цемента с увеличением в объеме и разрушают бетон изнутри (коррозия III вида).

Учитывая градиент напора, ремонтные композиты, применяемые к дефектным граням, должны быть не только прочными и водонепроницаемыми, но и удобоукладываемыми для нанесения непосредственно под водой водолазами, а

также быстротвердеющими, чтобы избежать размыва водой. Свойства композитов в наибольшей степени определяет тип вяжущего, который должен назначаться исходя из условий работы конструкции (причин, вызывающей ее разрушение).

Анализ современных ремонтных материалов, применяемых для ремонта гидротехнических сооружений, в т.ч. т.н. «пенетрирующих», и способов их применения (табл.1) показал, что все они являются композитами, состоящими из цемента или полимера и заполнителей, кремнеземистых наполнителей, химических и полимерных добавок, волокон и т.п. Эти материалы быстротвердеющие, безусадочные, с хорошей адгезией к старому бетону. Их наносят на влажные поверхности, но не в подводных условиях, т.е. при производстве работ вода должна быть отведена, что само по себе является затратным мероприятием.

Для ремонта подводной части сооружений без водопонижения применяют специальные способы работ – ВПТ, ВР, увеличения сечения, затвора-присоса и т.д [2]. Так, т.н. Rescon-метод заключается в закачивании в опалубку эпоксидного компаунда, который, отвердевая, создает на поверхности конструкции водонепроницаемую оболочку. Однако стоимость применяемых при этом

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

материалов и сооружение опалубки существенно удорожает стоимость ремонта.

Таблица 1

Композиты, применяемые для ремонта гидротехнических сооружений

Наименование, торговая марка, производитель материала	Характеристика композита	Способ нанесения
Emaco [®] Fast Fluid; Emaco [®] S66	Безусадочная быстротвердеющая сухая смесь наливного типа (начало схватывания 15 мин.)	На влажную поверхность. Толщина укладки от 10 до 100 мм
Macflow BASF Construction Chemicals	Пластифицированный расширяющийся цемент	На влажную поверхность. Опалубку необходимо покрыть антиадгезивом (Эмульсол ЭМ-1)
Сиолит Т	Сухая цементно-минеральная смесь, (начало схватывания 30-40 мин)	Нанесение торкретированием на влажную поверхность
Sika [®] Injection-451	Эпоксидная инъекционная смола	Мокрым способом на влажную поверхность
SikaWrap [®] -530 C/105 + Sikadur-330	Однонаправленная ткань из углеродного волокна (стекловолокно) + смола для пропитки	
Ceresit CD 22	Крупнозернистая ремонтно-восстановительная смесь	На прочное, сухое основание
Ceresit CX 1	Смесь для устранения протечек воды через трещины, (начало схватывания 1 мин)	На влажную поверхность
Хурех Adi-Con CSF (R)	Сухая кремнеземная химическая добавка с полимерными волокнами	На влажную поверхность

Поскольку для подводных работ необходимо особо быстрое схватывание и твердение композитов, в качестве вяжущего для них обращает на себя внимание глиноземистый цемент (табл.2). Глиноземистый цемент впервые запущен в промышленное производство в 1912 г. во Франции. Это быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, состоящее преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция. Прочность 13-суточного камня глиноземистого цемента превышает прочность 28-суточного портландцементного камня.

Причинами, ограничивающими широкое применение глиноземистых цементов, являются дефицитность сырья – высокосортных бокситов, энергоёмкость производства, не до конца изученный

процесс фазовых превращений во времени, приводящий к сбросу прочности через длительное время [5]. Введение в алюминатные цементы более 2 % добавок-модификаторов действующей нормативно-технической документацией не предусмотрено [2].

Материалы экспериментальных исследований.

Выполнены экспериментальные исследования влияния добавок-модификаторов на сроки схватывания глиноземистого цемента марки ГЦ40 производства ООО «Спецстрой Харьков». В качестве добавок-модификаторов использовали известь-пушонку $Ca(OH)_2$ и трехкальциевый алюминат C_3A . Сроки схватывания определяли в соответствии с ГОСТ 310.3. При затворении водой и перемешивании

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

отмечали выделение значительно количество тепла. Образцы схватывались и твердели на воздухе. Признаков усадки и трещин на образцах цементного камня (из кольца

прибора Вика) не отмечали. Результаты исследований представлены в табл.3 и на рис.2.

Таблица 2

Физико-механические показатели цемента марки ГЦ40
ДСТУ Б В.2.7-258:2011 (ГОСТ 969-91) и цементного камня на его основе

Наименование показателя	Значение для цемента марки ГЦ40
Пористость [5]	3–3,3 г/см ³
Плотность цементного камня	1600–1800 кг/м ³
Предел прочности при сжатии в возрасте 3 суток	40 МПа
Сроки схватывания:	Боится низких температур
- начало	> 45 мин
- конец	< 12 ч
Водопотребность	24–28 %
Стоек к растворам кальциевых и магниевых солей, слабым растворам органических кислот; малостоек к растворам калиевых, натриевых, аммонийных солей, щелочей. Стоек при высоких температурах 1200–1400°С. При высыхании подвергается значительной усадке. Через 10–20 лет наблюдается снижение прочности до 50 %	

Таблица 3

Результаты исследований влияния модифицирующих добавок на сроки схватывания глиноземистого цемента

№ серии испытаний	Состав смеси, %			Температура среды, °С	Сроки схватывания, мин		Примечание
	ГЦ40	Ca(OH) ₂	C ₃ A		Начало	Конец	
1	80	20	0	20	2,9	8,1	
	70		10		2,8	5,5	
	67,5		12,5		1,4	4,8	
	65		15		1,0	3,2	н/у*
2	90	10	0	20	3,0	13	
	70	30			3,2	8	
3	90	0	10	20	74	нет	
	80	10			1,2	6,6	
	70	20			2,8	5,5	
	60	30			1,8	6	
4	72,5	15	12,5	20	1,7	5,7	
				15	4,3	10	
				13	5,9	14	
				17	4,5	11	

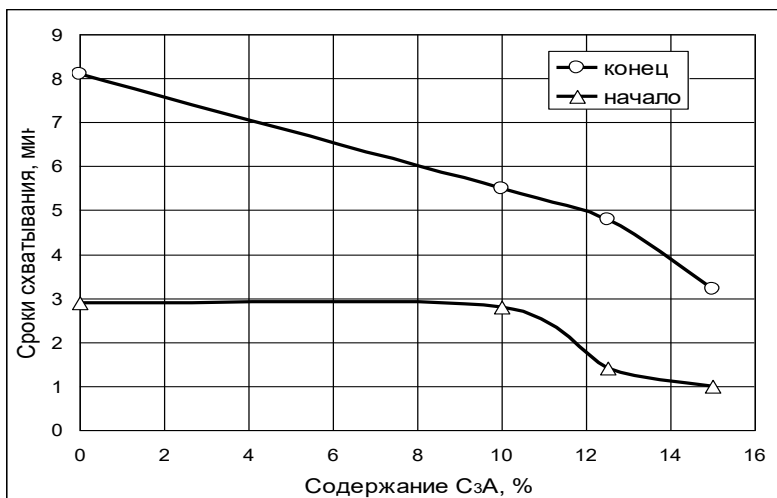
н/у – смесь неудобокладываемая

Выводы и рекомендации. В результате анализа условий эксплуатации подводной части гидротехнических сооружений и современных материалов, применяемых для их ремонта без отводы воды, установлено, что приемлемыми для

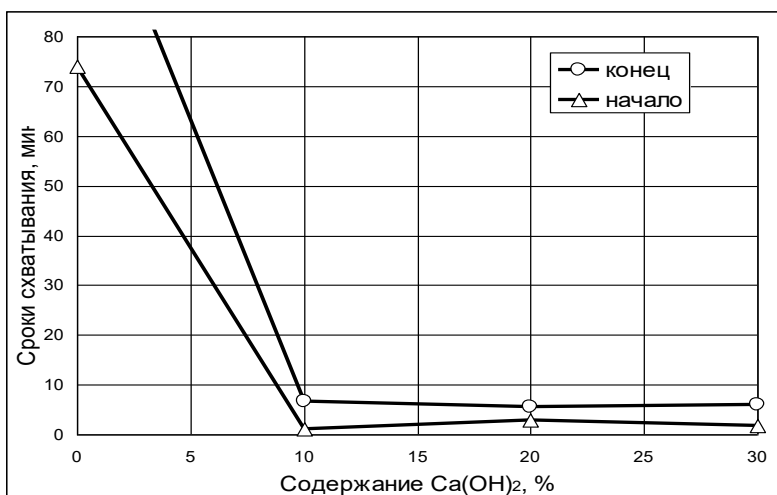
такого ремонта могут быть композиции на основе глиноземистого клинкера, характеризующиеся малыми сроками схватывания, предотвращающими их размыв.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

a)



б)



в)

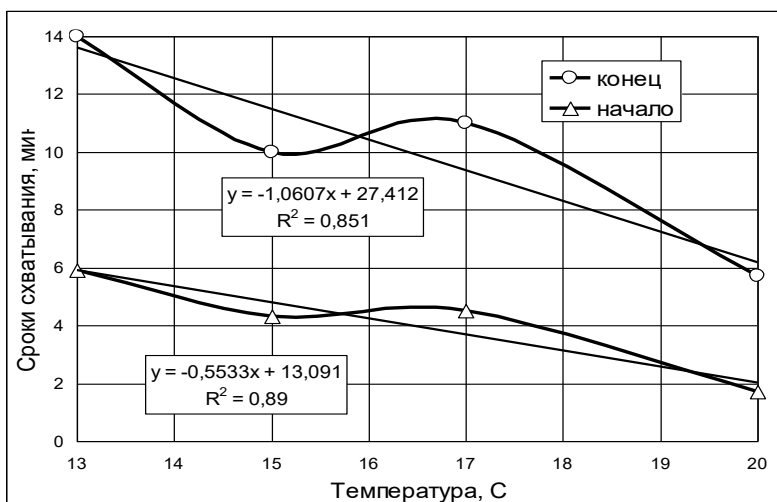


Рис.2 Зависимости сроков схватывания композита на основе глиноземистого клинкера: а – от содержания C_3A при постоянном содержании $Ca(OH)_2$ 20 %; б – от содержания $Ca(OH)_2$ при постоянном содержании C_3A 10 %; в – от температуры окружающей среды при постоянном содержании C_3A 12,5 % и $Ca(OH)_2$ 15 %

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

В результате экспериментальных исследований установлено, что введение C_3A в композицию на основе глиноземистого цемента, содержащую 20 % $Ca(OH)_2$, обеспечивает снижение сроков схватывания (начала и конца) при 20°C от 2,9 и 8,1 мин до 1,0 и 3,2 мин или в 2,9–2,5 раз. Введение $Ca(OH)_2$ в композицию на основе глиноземистого цемента, содержащую 10 % C_3A , обеспечивает снижение сроков схватывания при 20°C от более 10 мин до 1,8 и 1,6 мин. Т.е. повышение основности композиции на основе глиноземистого

цемента обеспечивает ускорение схватывания в 2,5–2,9 раз и более, а для достижения минимальных сроков схватывания менее 1,5 и 3,5 мин содержание модифицирующих добавок $Ca(OH)_2$ и C_3A должно составлять не менее 10 и 12,5 %, соответственно.

Установлено, что снижение температуры от 20 до 13°C приводит к увеличению сроков схватывания композиций на основе глиноземистого цемента от 1,7 и 5,7 мин до 4,5 и 11 мин, т.е. в 1,9–2,6 раз.

Список использованной литературы

- 1 СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования/ - с.2
- 2 ДСТУ Б В.2.7-258:2011 (ГОСТ 969-91) Цементи глиноземисті та високоглиноземисті. Технічні умови/ - табл.2
- 3 А.В.Яцыка, Малые реки Украины./ Справочник, 1991 г./- с.192
- 4 Пшинько А.Н., Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений/ Днепрпетровск «Пороги», 2000 г// - с.11-37
- 5 А.В.Волженский., Минеральные вяжущие вещества./ Москва 1966 г// - с.379-387

Суханова Юлия Андреевна, ведущий инженер ООО «Гидротехпроект», г. Харьков, Украина; Тел. (095) 0438838., E-mail: jvine@mail.ru

Партала Наталья Николаевна заведующая лабораторией кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинский государственный университет железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-63 E-mail: natabim@mail.ru

Плугин Андрей Аркадьевич, д.т.н., проф., зав. кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинский государственный университет железнодорожного транспорта; Тел. (057)730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Фишер Ханс-Бертрам, д-р-инж., Институт строительных материалов им.Ф.А.Фингера, Веймарский архитектурно-строительный университет, Германия; Тел.: +49 (0) 3643 584712, E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Sukhanova Yulia A., leading engineer of design and research institute «Hydrotechproject»; tel. (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru

Partala Natalia M..head of the Laboratory department building materials, structures and buildings Ukrainian State Academy of Railway Transport UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: natabim@mail.ru

Plugin Andrii A., DSc, Prof, Head of Building Materials, Constructions and Structures Dept, UksSURT; Tel. +38 (057)730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Fischer Hans-Bertram, Dr-Ing., F.A. Finger Institute for Building Material Engineering, Bauhaus-Universität Weimar Tel.: +49 (0) 3643 584712, E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.175:666.96+541.1

ЕФЕКТИВНІ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ШЛАКОМІСТКИХ ЦЕМЕНТІВ

Д-р техн. наук К.К. Пушкарьова, канд. техн. наук М.В. Суханевич, асп. А.С. Марціх

ЭФФЕКТИВНЫЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ШЛАКОСОДЕРЖАЩИХ ЦЕМЕНТОВ

Д-р техн. наук Е.К. Пушкарева, канд. техн. наук М.В. Суханевич, асп. А.С. Марцих

EFFECTIVE WATERPROOFING MATERIALS BASED ON NANOMODIFIED SLAG CONTAINED CEMENTS

DSc K.K. Pushkarova, PhD M.V. Sukhanevych, Postgraduate A.S. Martsikh

У статті досліджено вплив вуглецевих нанотрубок, що дисперговані в пластифікаторах, на фізико-механічні властивості штучного каменю на основі шлакомістких цементів, модифікованих природними добавками алюмосилікатного складу, а також властивості гідроізоляційних покриттів, отриманих на їх основі. Показано позитивний вплив комплексної добавки на механічні властивості шлакомісткого цементного тіста та захисні властивості цементно-піщаного покриття за рахунок участі добавки в формуванні новоутворень.

Ключові слова: *шлакомісткий портландцемент, наномодифікація, вуглецеві нанотрубки, пластифікатор, механічні властивості, гідроізоляційні покриття, капілярне водопоглинання.*

В статье исследовано влияние углеродных нанотрубок, диспергированных в пластификаторах, на физико-механические свойства искусственного камня на основе шлакосодержащих цементов, модифицированных природными добавками алюмосиликатного состава, а также свойства гидроизоляционных покрытий, полученных на их основе. Показано положительное влияние комплексной добавки на механические свойства шлакосодержащего цементного теста и защитные свойства цементно-песчаного покрытия за счет участия добавки в формировании новообразований.

Ключевые слова: *шлакосодержащий портландцемент, наномодификация, углеродные нанотрубки, пластификатор, механические свойства, гидроизоляционные покрытия, капиллярное водопоглощение.*

This article research the influence of carbon nanotubes on physical and mechanical properties of artificial stone on the basis of slag contained cements, which are modified by natural additives of aluminosilicate composition. It was found that complex additive dispersion of nanotubes in plasticizers (melamineformaldehyde and lignosulfonate types) positive effect on the strength of slag contained artificial stone. Shown the positive effect of the nanotubes (in an amount of 0,005...0,01% of weight of cement) on the properties of the waterproofing protective coatings. Developed composition of waterproofing materials can be recommended for waterproofing of engineering structures with the aim of increasing their lifetime.

Keywords: *slag containing cement, nanomodification, carbon nanotubes, plasticizer, mechanical qualities, waterproofing coating, capillary water absorption.*

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Вступ

Бетонні та залізобетонні конструкції залишаються основними спорудами промислового та громадського призначення. Більшість промислових бетонних конструкцій, особливо масивних, запроектовано на тривалий термін – більше 100 років, проте з часом вони починають втрачати свої функціональні властивості. Для запобігання таким явищам використовують захисні та ремонтні тонкошарові покриття, що дозволяють відновити цілісність та працездатність споруд без їх демонтажу.

Відомою нанорозмірною добавкою для модифікації цементних систем та отримання гідроізоляційних покриттів є вуглецеві нанотрубки, що мають ряд унікальних властивостей та викликають інтерес у вчених різних країн [1-3].

Попередніми роботами [4,5] було показано ефективність введення нанотрубок у цементні системи у вигляді дисперсій пластифікаторів різних типів. Присутність наномодифікатора в кількості 0,005...0,015% від маси шлакомісткої в'язучої речовини сприяє підвищенню основних фізико-механічних властивостей штучного каменю. При дослідженні процесів структуроутворення [6] було показано формування більш досконалої структури штучного каменю в присутності 1% вуглецевих нанотрубок в дисперсії пластифікаторів, найефективнішими з яких виявились пластифікатори лігносульфанатного та меламінформальдегідного складів.

Природними добавками, які застосовують для гідроізоляційних сумішей є глини, в тому числі каолін та бентоніт, які виступають в ролі водотримуючого та пластифікуючого компонента при модифікації цементних в'язучих речовин [7]. Використання бентоніту та каоліну для виготовлення гідроізоляційних матеріалів є відомим, проте підвищення їх ефективності в складі цементних систем може бути здійснене шляхом поєднання їх природних

властивостей з найсучаснішими науковими досягненнями нанотехнологій [8].

Мета роботи

Метою роботи є дослідження гідроізоляційних властивостей покриттів, отриманих на основі шлакомісткого цементу, модифікованого комплексною добавкою, що містить вуглецеві нанотрубки та мікронаповнювач у вигляді бентоніту та каолініту.

Сировинні матеріали та методи досліджень

Як сировинні матеріали в дослідженнях використовували портландцемент марки ПЦ-П/А-Ш 400, розчини пластифікаторів лігносульфанатного типу (з незначним вмістом полікарбоксилату) Sika-Plast 520 (ТМ «Sika») та меламінформальдегідного типу Muraplast FK-98 (ТМ «МС-Vauchemie»), фракціонований кварцовий пісок (<0,63 мм) та неочищені багатшарові вуглецеві нанотрубки, що вкриті аерогелем кремнію, з міжплощинними відстанями 0,34...0,36 нм і розміром частинок 60...200 нм.

Вуглецеві нанотрубки вводили в цементну матрицю у вигляді дисперсій пластифікатора в кількості 1% від маси цементу. Вміст нанотрубок в дисперсії складав 0,5, 1 та 1,5% від маси пластифікатора. Дисперсії готували в гомогенізаторі кавітаційного принципу дії, що забезпечує рівномірне розподілення нанотрубок в пластифікаторі.

Для надання цементним покриттям підвищеної водонепроникності були застосовані природні добавки алюмосилікатного складу: бентоніт та каолін. Мікронаповнювачі подрібнювали до питомої поверхні не менше ніж 10 000 см²/г та вводили у кількості 5% від маси в'язучої речовини під час виготовлення гідроізоляційного покриття складу Ц:П=1:1,5.

Міцність цементного каменю визначали на зразках-кубах 2x2x2 см та зразках-балочках 1x1x6 см після твердіння в

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стандартних умовах протягом 3, 7 та 28 діб. Капілярне водопоглинання покриттів, нанесених на підготовлену бетонну основу, визначали за допомогою трубки Карстена за методикою [9].

Результати досліджень та їх обговорення

Кінетику набору міцності штучного каменю при випробуванні зразків на стиск та на згин наведено на рис.1 та рис.2 відповідно.

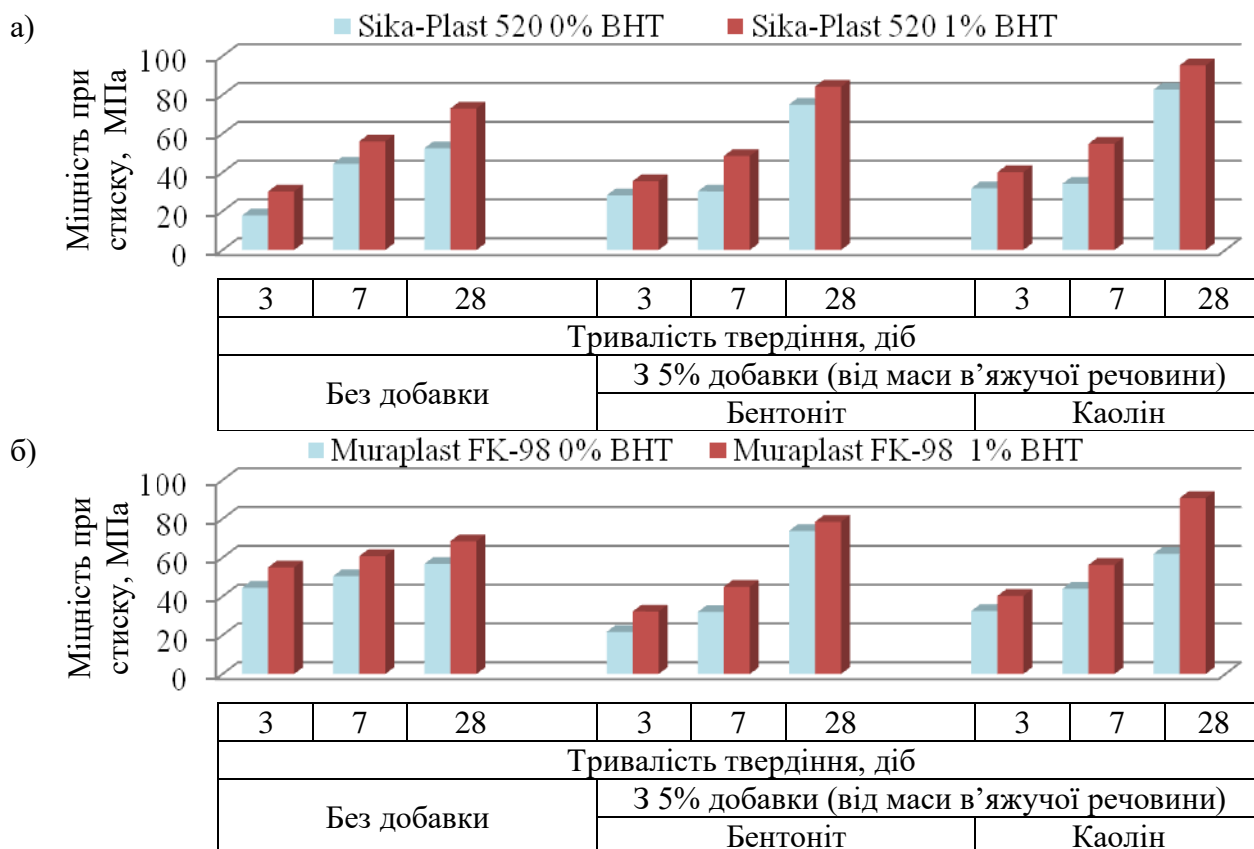


Рис.1. Кінетика набору міцності на стиск цементного каменю на основі шлакомісткого портландцементу, модифікованого природними добавками алюмосилікатного складу та дисперсіями вуглецевих нанотрубок в пластифікаторах: а) Sika-Plast 520, б) Muraplast FK-98

При дослідженні зміни міцності зразків на стиск було встановлено позитивний вплив добавки дисперсій нанотрубок на міцність шлакомісткого цементного тіста та відмічено збільшення міцності всіх складів на 6...45% порівняно з міцністю зразків без нанотрубок.

Застосування добавок алюмосилікатного складу для модифікації шлакомісткого цементу знижує ранню міцність каменю на 3 та 7 добу, проте міцність зразків на 28 добу твердіння вища на 15...30% порівняно зі зразками без добавки глини, при чому найбільше зростання міцності характерне саме для зразків з нанотрубками. Також можна

зауважити, що міцність зразків на стиск з добавкою каоліну дещо вища, ніж з добавкою бентоніту.

Найбільш високим значенням міцності на 28 добу характеризується цементний камінь, модифікований добавкою каоліну та дисперсії нанотрубок на основі пластифікатора Sika-Plast 520 (рис.1, а), міцність якого досягає 95,2 МПа, що на 80% перевищує міцність контрольного складу з добавкою чистого пластифікатора.

Аналогічна тенденція щодо зниження ранньої міцності складів з добавкою глини спостерігається і при визначенні міцності зразків на згин, однак на 28 добу

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

спостерігається підвищення міцності зразків з добавками бентоніту та каоліну. Міцність на згин зразків, модифікованих нанотрубками завжди вища, порівняно з немодифікованими і найвищою є для складу в'язучої речовини на основі шлакомісткого цементу, модифікованого добавкою

бентоніту та дисперсії нанотрубок на основі меламінформальдегідного пластифікатора Muraplast FK-98 і становить 18,8 МПа на 28 добу твердіння, що на 38% більше, ніж міцність контрольного складу з добавкою чистого пластифікатора.

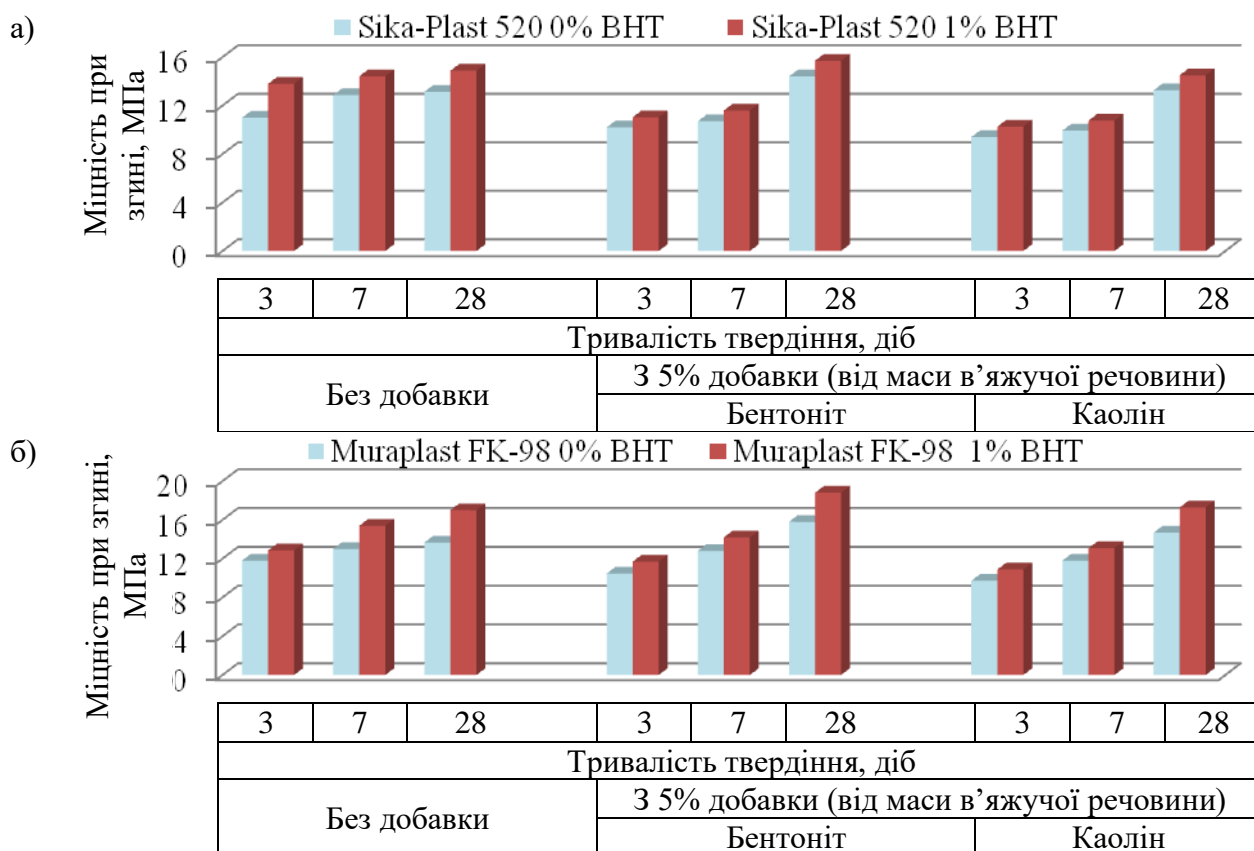


Рис.2. Кінетика набору міцності на згин цементного каменю на основі шлакомісткого портландцементу, модифікованого природними добавками алюмосилікатного складу та дисперсіями вуглецевих нанотрубок в пластифікаторах: а) Sika-Plast 520, б) Muraplast FK-98

Капілярне водопоглинання для гідроізоляційних покриттів на основі шлакомісткого цементу, модифікованого дисперсіями нанотрубок в пластифікаторі та добавками алюмосилікатного складу досліджене за методикою [9], наведено на рис. 3.

Встановлено, що найнижчим водопоглинанням характеризуються покриття на основі шлакомісткого цементу, модифікованого дисперсіями нанотрубок на основі пластифікатора Muraplast FK-98, причому добавка бентоніту сприяє більш

високому зниженню водопоглинання, ніж в разі використання каолініту.

Виявлена тенденція пояснюється особливостями структурної побудови бентоніту та каоліну. Бентоніт має структуру у вигляді шарів, пакети якого пов'язані між собою обмінними катіонами лужних та лужноземельних металів. В результаті взаємодії з водою навколо цих катіонів утворюється водонепроникний гель. Мінерал каолініт також має шарувату будову, але, на відміну від бентоніту, між пакетами існує водневий зв'язок, який не дозволяє йому

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

набухати та утворювати водонепроникний шар.

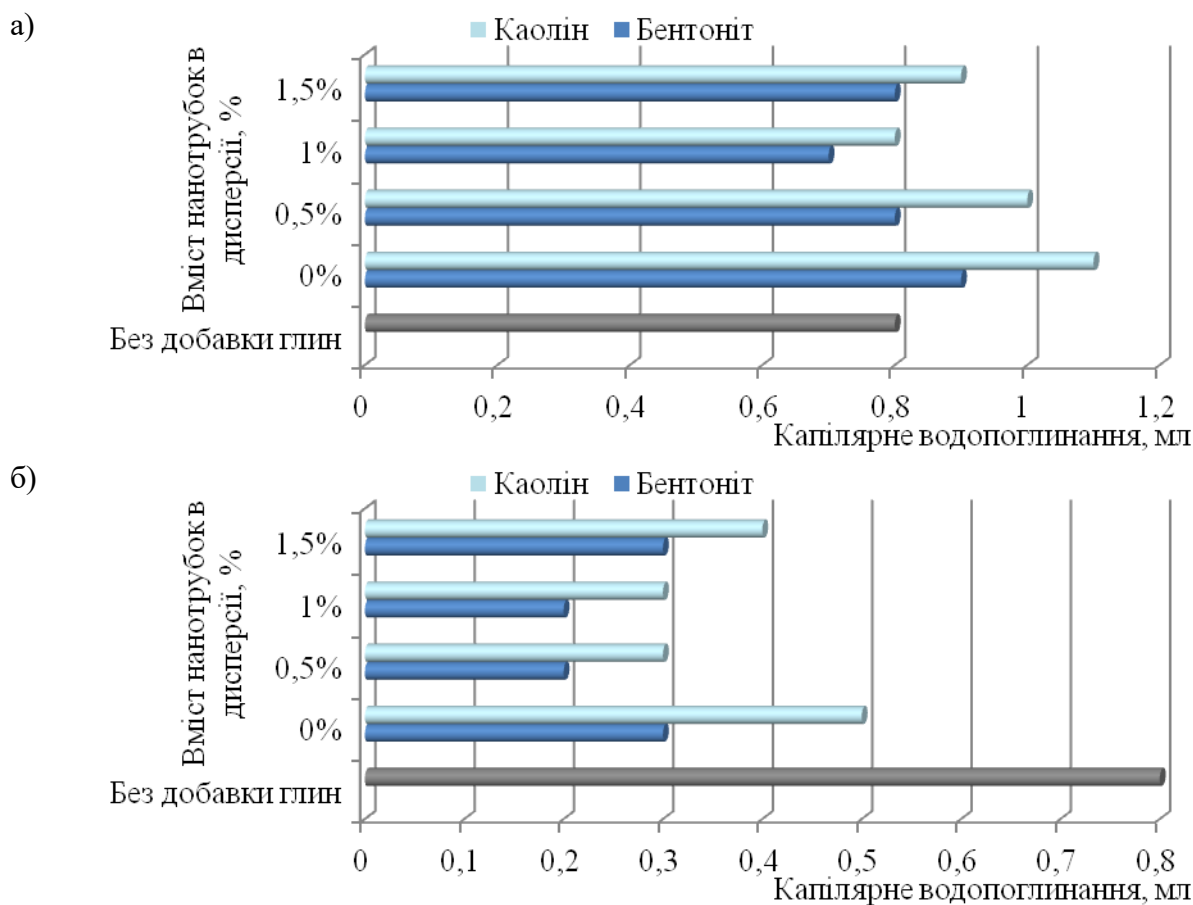


Рис.3. Капілярне водопоглинання покриттів на основі шлакомісткого портландцементу, модифікованого різними алюмосилікатними добавками та дисперсіями вуглецевих нанотрубок в пластифікаторах: а) Sika-Plast 520, б) Muraplast FK-98

Таким чином, підвищення довговічності інженерних споруд можна забезпечити шляхом використання наномодифікованих гідроізоляційних матеріалів оптимального складу, які забезпечують ізоляцію конструкцій від дії води, а також присутніх в ній агресивних сполук.

Висновки

1. Досліджено кінетику зміни фізико-механічних властивостей шлакомісткого цементного каменю, модифікованого природними добавками алюмосилікатного складу та дисперсіями нанотрубок в лігносульфанатному та меламінформальдегідному пластифікаторах.

2. Встановлено, що добавка глини знижує ранню міцність шлакомісткого

цементного тіста після твердіння 3 та 7 діб, проте міцність зразків на 28 добу твердіння перевищує на 15...30% міцність зразків без добавки глини, при чому найбільше зростання міцності характерне саме для зразків, модифікованих нанотрубками.

3. Показано, що для гідроізоляційних матеріалів більш важливим фізико-механічним показником є саме міцність на згин, оскільки у випадку використання композицій, що мали більш високу міцність каменю на згин, спостерігається найнижче значення капілярного водопоглинання.

4. З'ясовано, що найнижчим значенням капілярного водопоглинання, а саме 0,2 мл, характеризуються гідроізоляційні покриття, отримані з

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

використанням шлакомісткої в'язучої речовини, модифікованої добавкою дисперсії на основі пластифікатора Muraplast FK-98, що містить 0,5...1% нанотрубок, та добавки бентоніту в кількості 5% від маси в'язучої речовини.

5. Розроблені склади гідроізоляційних матеріалів можуть бути рекомендовані для гідроізоляції інженерних споруд з метою підвищення терміну їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Campillo I. High performance nanostructured materials for construction / I. Campillo, J. S. Dolado, A. Porro // Nanotechnology in construction RSC publications. – 2004. – P. 215 – 225.
2. Koward T. Influence of surface modified carbon nanotubes on ultra high performance concrete. / T. Koward // Proc. Int. Symp. Ultra High Performance Concrete, Kassel . 2004. P. 195 – 202.
3. Торба А. Нанотехнологии в строительстве – это не фантазии, а реальность / А. Торба // Строительная газета. – 2007. – № 51
4. К.К. Пушкарьова. Портландцементні розчини, модифіковані вуглецевими нанотрубками, як основа для створення гідроізоляційних покриттів. / К.К. Пушкарьова, М.В. Суханевич, А.С. Марціх // 36. наук. праць «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка» №50 – 2013. Київ – с. 31-37.
5. Марціх А. С. Композиційні матеріали на основі шлакопорландцементу та дисперсій вуглецевих нанотрубок // Матеріали 8 міжнародної веб-конференції «Композиційні матеріали» - 2014. Київ – с. 65-70.
6. Пушкарьова К.К. Вплив вуглецевих нанотрубок на процеси структуроутворення шлакомісткого цементного каменю. / К.К. Пушкарьова, М.В. Суханевич, А.С. Марціх // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури № 58 – 2015. Київ – 260 с.
7. Грим Р.Е. Минералогия и практическое использование глин. / Пер. с английского. М.: Стройиздат, 1967. - 127 с.
8. Химич Т.С. Сырьевая формовочная смесь на основе бентонита // Вопросы планировки и застройки городов: Материалы X Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГАСА, 2003. – С. 284-285.
9. ДСТУ Б В.2.7-126: 2011. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови.

Пушкарьова К.К. , д.т.н., проф., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, sribm.pushkarova@mail.ru;

Суханевич М.В. , к. т. н., доц., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, m.suhanevich@mail.ru;

Марціх А.С. , асп., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, martsih@bigmir.net.

Pushkarova K.K., Prof., DSc, department of Building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, sribm.pushkarova@mail.ru;

Sukhanevych M.V., Dr., department of Building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, m.suhanevich@mail.ru;

Martsikh A.S., postgraduate student, department of Building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, martsih@bigmir.net.

Стаття прийнята 05.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.075.3

ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ТА ЇХНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д-р техн. наук К.К. Пушкарьова, канд. техн. наук О.А. Гончар, асп. К.О. Каверин

ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д-р техн. наук Е.К. Пушкарева, канд. техн. наук О.А. Гончар, асп. К.О. Каверин

INFLUENCE ORGANIC AND MINERAL ADDITIVES ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITIONS AND THEIR PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

DSc K.K. Pushkarova, PhD O.A. Gonchar, Postgraduate K.O. Kaverin

У статті досліджено вплив органо-мінеральних добавок на реологічні та фізико-механічні властивості цементного штучного каменю. Встановлено, що в разі використання добавки оптимального складу міцність цементного каменю зростає в 2 рази порівняно зі зразками без добавок. Показано можливість заміни відомих силікатних добавок на більш дешеві та доступні природні та техногенні речовини.

Ключові слова: *портландцемент, суперпластифікатор, мікрокремнезем, комплексна органо-мінеральна добавка, міцність при стиску, пластична міцність.*

В статье исследовано влияние органо-минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства цементного искусственного камня. Установлено, что при использовании добавки оптимального состава прочность цементного камня возрастает в 2 раза по сравнению с образцами без добавок. Показана возможность замены известных силикатных добавок на более дешевые и доступные природные и техногенные вещества.

Ключевые слова: *портландцемент, суперпластификатор, микрокремнезем, комплексная органо-минеральная добавка, прочность при сжатии, пластическая прочность.*

This article research the influence of organic and mineral additives on the rheological and physical and mechanical properties of the Portland cement artificial stone and found that type of additives in small amounts significantly affect both the physical and chemical processes of hardening binders. Analysis of the results showed that the strength of cement with organo-mineral twice time higher compared with samples without additives. The composition of modified cement matrix can be used for production light and heavy concrete and concrete for special purposes.

Keywords: *Portland cement, superplasticizer, microsilica, complex organic-mineral supplement, compressive strength, plastic strength.*

Вступ

Мінеральні добавки використовуються для регулювання процесів тужавлення, структуроутворення, активації гідратації і твердіння, поліпшення реологічних

властивостей розчинових і бетонних сумішей [1,2].

Слід зазначити, що мінеральні добавки в більшості випадків застосовуються в складі комплексних органо-мінеральних добавок і,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

найчастіше, спільно з суперпластифікаторами [1-3].

Основними механізмами підвищення міцності наповнених цементних систем є ущільнення структури цементних матеріалів, створення умов для зближення частинок, утворення контактів між ними і формування гелевидних гідросилікатних фаз з наступним утворенням кристалічних контактних зон на поверхні частинок.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження реологічних та фізико-механічних властивостей цементних композицій, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою на основі суперпластифікатора та мікрокремнезему.

СИРОВИННІ МАТЕРІАЛИ

В дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500 Н, модифікований комплексною органо-мінеральною добавкою на основі полікарбоксилатів (SikaPlast 555W, MC PowerFlow 3100) та тонкодисперсних активних мінеральних добавок на основі кремнеземистих добавок: побічні продукти Стаханівського феросплавного заводу ($S_{\text{пит}}=36398 \text{ см}^2/\text{г}$), ВАТ «АрселорМіттал Кривий ріг» ($S_{\text{пит}}=9478 \text{ см}^2/\text{г}$), продукти торгових марок Elkem Microsilica Grade 940-U ($S_{\text{пит}}=24795 \text{ см}^2/\text{г}$) та SikaFume ($S_{\text{пит}}=8556 \text{ см}^2/\text{г}$), а також тонкомолоте ніздрювате скло ($S_{\text{пит}}=10485 \text{ см}^2/\text{г}$), молотий трепел Коноплянського родовища ($S_{\text{пит}}=21300 \text{ см}^2/\text{г}$).

Згідно результатам ІЧ-спектроскопії дані суперпластифікатори отримані на основі поліетиленгліколів, а саме: MC PowerFlow 3100 містить поліетиленгліколь з молекулярною масою 3000, що в своєму складі має поліетиленполіамін (ПЕПА), SikaPlast 555W — поліетиленгліколь з молекулярною масою 1000, що в своєму складі містить поліакриламід.

Методи дослідження

Як критерії оцінки якості досліджуваних систем були використані реологічні характеристики цементного тіста

та міцність при стиску цементного каменю. Дослідження проводили на цементному тісті, модифікованому органо-кремнеземистими добавками, і на зразках-кубах цементного каменю $2 \times 2 \times 2 \text{ см}$ за стандартною методикою і в стандартних умовах у віці 3,7 та 28 діб. Суперпластифікатори вводили у кількості 1,0% (MC PowerFlow 3100) та 1,5% (SikaPlast 555W), а мікрокремнезем – у кількості 5%, 10% і 15% від маси цементу відповідно. Водоцементне відношення (В/Ц) для зразків-кубів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-мінеральною добавкою, становило 0,24.

Дослідження процесу структуроутворення модифікованого цементного тіста були проведені за допомогою метода пластометрії. Початок і кінець тужавлення визначали за допомогою приладу Віка за відомою методикою [4, 5, 6]. Пластичну міцність вимірювали за допомогою конічного пластоміру [8].

Для ідентифікації синтезованих новоутворень та встановлення особливостей структуроутворення у розроблених в'язучих композиціях було виконано дослідження фазового складу продуктів твердіння з використанням рентенофазового та диференціально-термічного аналізів.

Результати досліджень та їх обговорення

Досліджено фізико-механічні характеристики цементних композицій на основі портландцементу ПЦ І 500-Н, модифікованого комплексною органо-мінеральною добавкою з використанням полікарбоксилатних суперпластифікаторів “PowerFlow 3100” в кількості 1% та “SikaPlast 555W” в кількості 1,5% від маси цементу та тонкодисперсних активних мінеральних добавок Стаханівського феросплавного заводу, ВАТ «АрселорМіттал Кривий ріг», торгових марок Elkem Microsilica Grade 940-U та SikaFume, а також тонкомолоте ніздрювате скло і трепел Коноплянського родовища в кількості 5...15%.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Розглядаючи тенденцію зміни міцності при стиску штучного каменю на 28 добу залежно від виду використаних кремнеземистих добавок і суперпластифікаторів (рис.1) наочно видно, що високомолекулярна добавка “PowerFlow 3100” краще співпрацює з природньою кремнеземистою добавкою у кількості 5% від маси цементу — меленим трепелом, а низькомолекулярна добавка “SikaPlast

555W” — з технічними кремнеземами, а саме “Elkem Microsilica Grade 940-U” [7,8]. При введенні комплексної органо-мінеральної добавки показники міцності при стиску на 28 добу досягають 116,4 МПа і 110,4 МПа відповідно. В той же час для немодифікованого цементного каменю міцність при стиску на 28 добу становить 47,7 МПа.

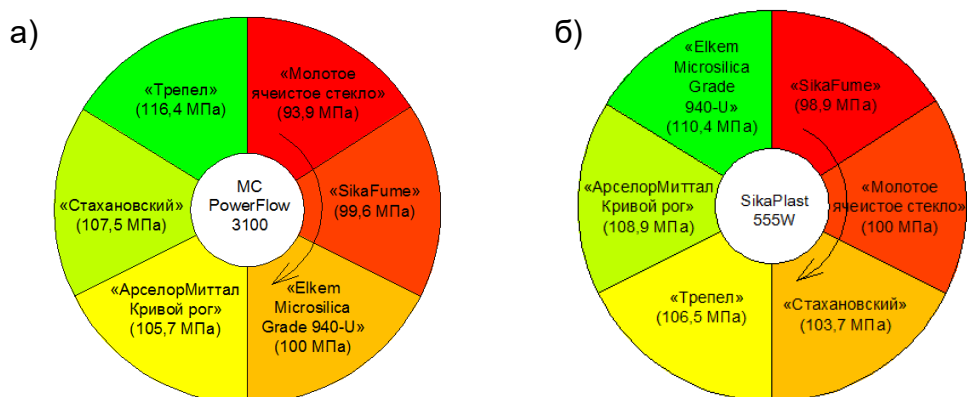


Рис.1. Тенденція зміни міцності при стиску штучного каменю на 28 добу залежно від виду кремнеземистих добавок і суперпластифікаторів:
а) MC PF 3100 (1%); б) SikaPlast 555W (1,5%).

Для розкриття механізму впливу органо-мінеральної добавки на процес формування міцності штучного каменю досліджено реологічні характеристики цементного тіста, тобто визначено показники пластичної міцності та тривалості індукційного періоду залежно від складу органо-мінеральної добавки.

При використанні суперпластифікаторів MC PowerFlow 3100 і SikaPlast 555W в кількості 0,5% ... 1,5% від маси в'язучої речовини (рис.2 а, б) спостерігається зменшення пластичної міцності до значень менше 1 МПа, а тривалість індукційного періоду складає від 3 до 8 годин.

При введенні мікрокремнезему «Elkem Microsilica Grade 940-U» та молотого трепелу в оптимальній кількості — 5 % від маси портландцементу ПЦ І–500 Н разом з суперпластифікаторами «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% і «MC PowerFlow 3100» в

кількості 1% від маси в'язучої речовини (рис.2, г, д, крива 11, 14) спостерігається плавне зростання пластичної міцності, індукційний період складає 6 і 5 годин, що створює умови для синтезу більш досконалої структури цементного каменю.

При збільшенні кількості кремнеземистої добавки до 15 %, незалежно від виду суперпластифікатора (рис.2. в,г,д,е), має місце різке зростання пластичної міцності і скорочення індукційного періоду до 3 годин, що негативно відбивається на кінетиці нарощування міцності цементного каменю у часі.

За результатами фізико-хімічного аналізу в досліджуваних системах, в тому числі за даними РФА та ДТА, фазовий склад новоутворень представлений переважно низькоосновними гідросилікатами кальцію, ксонотлитом, частково гідрогранатами, а також залишковим портландитом, кальцитом. Наявність гідросилікатних фаз

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

сприяє формуванню більш міцної та цементного каменю. кристалохімічно досконалої мікроструктури

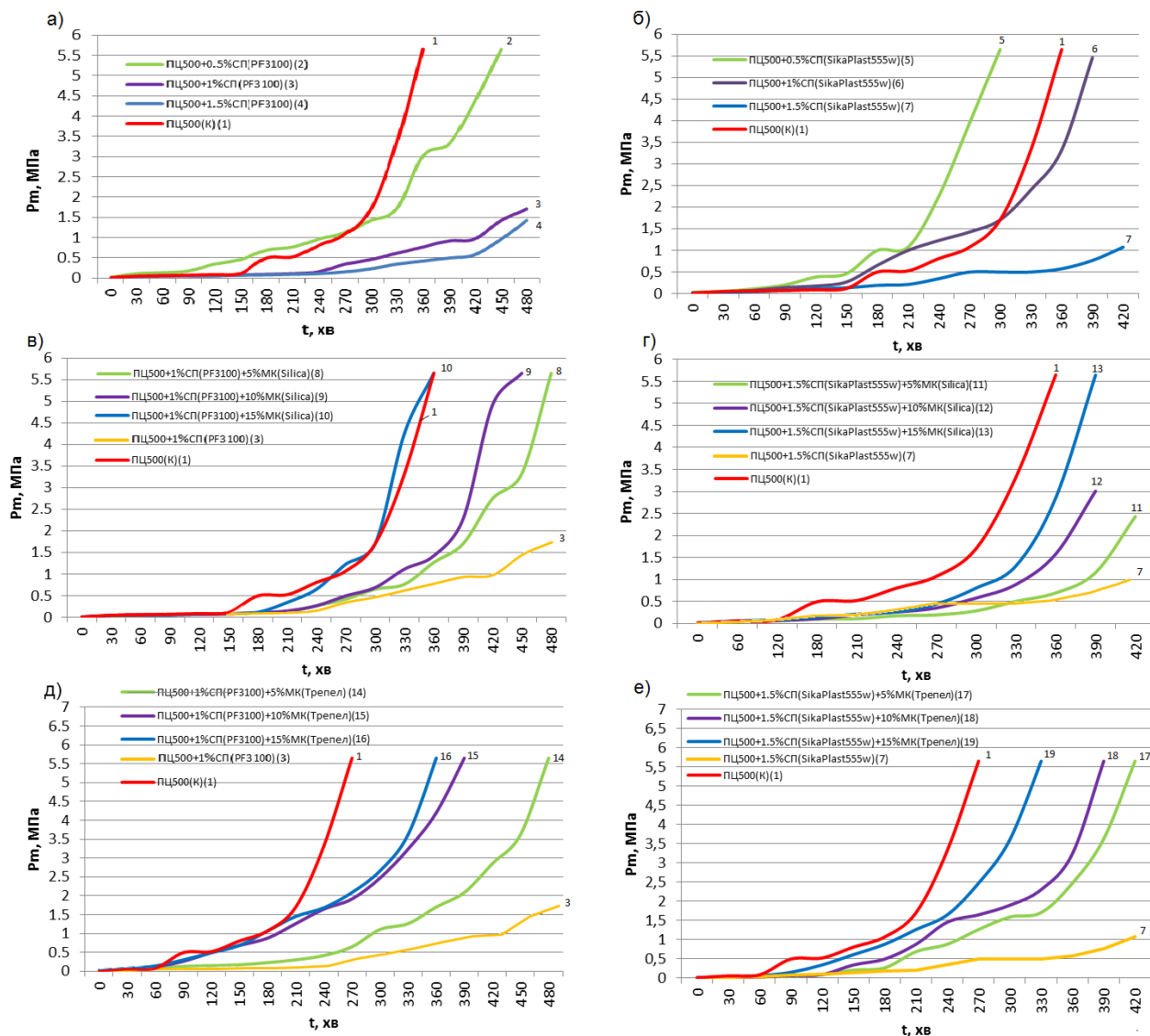


Рис.2. Кінетика зміни пластичної міцності на основі портландцементу ПЦ І 500, модифікованого суперпластифікаторами різних марок: MC PowerFlow 3100(а), SikaPlast 555W(б), та комплексною органо-мінеральною добавкою, що містить як силікатну добавку Elkem Microsilica Grade 940-U (в, г) та трепел (д, е).

Розроблені склади модифікованих цементних матриць можуть бути використані для отримання як легких, так і важких бетонів, а також бетонів спеціального призначення.

Висновки

1. При введенні полікарбоксилатних суперпластифікаторів до портландцементного тіста спостерігається подовження індукційного періоду до 7...8

годин, що позитивно впливає на формування структури цементного каменю. При додаванні оптимальної кількості комплексної органо-мінеральної добавки до складу цементного тіста відбувається скорочення індукційного періоду до 5...6 годин.

2. Встановлено, що за критеріями зміни міцності у часі високомолекулярна добавка «PowerFlow 3100» краще співпрацює з

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

природньою кремнеземистою добавкою на основі меленого трепела, а низькомолекулярна добавка SikaPlast 555W — з технічними кремнеземами, а саме Elkem Microsilica Grade 940-U.

3. Досліджено ефективність спільної дії полікарбосилатних суперпластифікаторів і кремнеземистих добавок різних видів і марок та встановлено, що найвище значення міцності досягається при використанні

полікарбосилатного суперпластифікатора «МС PowerFlow 3100» в кількості 1% від маси цементу і меленого трепела в кількості 5% від маси цементу. Використання оптимального складу органо-мінеральних добавок забезпечує підвищення міцності цементної матриці більше ніж в 2 рази порівняно з міцністю немодифікованого цементного каменю.

Список використаних джерел

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Изд-во «АСВ», 2002. - 500 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика, изд. 2-е, переработанное и дополненное. - М. 1998. - 768 с.
3. Дворкин Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Дворкин Л.И., Выровой В.Н. [и др.] — Киев, Будівельник, 1991. — 136 с.
4. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества / Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. — М.: Стройиздат, 1973. – 480 с.
5. Дворкин Л. Й. Фізико-хімічні і фізичні методи досліджень будівельних матеріалів / Дворкин Л. Й., Скрипник І. Г. — Рівне: НУВГП, 2006. – 220 с.
6. Кузьменков М. И. Химическая технология вяжущих веществ / Кузьменков М.И., Хотянович О. Е. — Учебное пособие для студентов вузов. Мн: БГТУ, 2008. – 264 с.
7. Пушкарьова К.К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів бетонів / Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Каверин К.О. // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка» № 52 – 2014. Київ – с. 43-48.
8. Пушкарьова К.К. Дослідження процесів структуроутворення цементних композицій, модифікованих органо-кремнеземистими добавками / Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Дмитров М.С. // Вісник Одеської Державної академії будівництва та архітектури № 56 – 2014. Одеса – с. 201-208.

Пушкарьова К.К., д.т.н., проф., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, sribm_pushkarova@mail.ru,

Гончар О.А., к.т.н., доц., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, oagonchar@mail.ru

Каверин К.О., асп., кафедра будівельних матеріалів, Київський національний університет будівництва та архітектури, +38(044)245-48-31, Kaverin_K_RAF@mail.ru

Pushkarova K.K., Prof., DSc, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, sribm_pushkarova@mail.ru,

Gonchar O.A., Dr., Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, oagonchar@mail.ru

Kaverin K.O., Postgraduate student, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, +38(044)245-48-31, Kaverin_K_RAF@mail.ru

Стаття прийнята 22.04.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 691.32

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДНОЙ СМОЛЫ**

Канд. техн. наук Ал.А. Плагин, асп. С.Г. Нестеренко, канд. техн. наук А.А. Конев,
канд. техн. наук А.В. Никитинский, студ. М.А. Колесников

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ
І ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ РОЗЧИНІВ НА
ОСНОВІ КАРБОМІДНОЇ СМОЛИ**

Канд. техн. наук О.А. Плагін, асп. С.Г. Нестеренко, канд. техн. наук А.А. Конєв,
канд. техн. наук А.В. Нікітінський, студ. М.О. Колесніков

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF ELECTRICAL INSULATING
AND WATERPROOFING PROPERTIES OF POLYMER MORTARS BASED ON UREA
FORMALDEHYDE RESIN**

PhD O.A. Plugin, Postgraduate S.G. Nesterenko, PhD A.A. Konev, PhD A.V. Nikitinskiy,
student M.A. Kolesnikov

В статье представлены результаты экспериментальных исследований электроизоляционных и гидроизоляционных свойств полимерцементных растворов на основе карбамидной смолы. Разработана методика и предложена модель исследования полимерцементных составов и конструкций с их применением. Полученные экспериментальные данные подтверждают преимущества полимерцементных растворов при строительстве и восстановлении зданий и сооружений эксплуатируемых в условиях обводнения и периодического воздействия электрического тока.

Ключевые слова: блуждающий ток, ток утечки, полимерцементный раствор, цементно-песчаный раствор, электрическое сопротивление, строительство, ремонт, влажность, обводнение.

У статті представлені результати експериментальних досліджень електроізоляційних і гідроізоляційних властивостей полімерцементних розчинів на основі карбамідної смоли. Розроблено методіку та запропоновано модель дослідження полімерцементних складів і конструкцій з їх застосуванням. Отримані експериментальні дані підтверджують переваги полімерцементних розчинів при будівництві та відновленні будівель і споруд, які експлуатуються в умовах обводнення і періодичної дії електричного току.

Ключові слова: блукаючий струм, струм витоку, полімерцементний розчин, цементно-піщаний розчин, електричний опір, будівництво, ремонт, вологість, обводнення.

The article presents the results of experimental researches of electrically insulating and waterproofing properties of polymer and cement mortars based on urea resin. A method of research of polymer and cement compositions and constructions made from them were developed. As a investigated construction adopted a fragment of a brick wall based on a polymer and cement mortar with one plastered surface. Additionally were investigated constructions of the brickwork based on a polymer and cement masonry mortar, cement-sand masonry mortar, and cement-sand

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

masonry and plaster. The imitation of maintenance of these constructions in atmospheric conditions with giving to ground and constructions of varying humidity were produced. Also it was produced a periodic action of a direct electric potential onto constructions by means of special electrodes placed in the soil and on the constructs themselves.

The experimental data show that the current intensity in the brick constructions based on cement-sand mortar greatly exceeds the current intensity in the constructions based on polymer and cement mortar. This fact clearly indicates onto advantages of polymer and cement mortars in construction and restoration of buildings and structures operating in conditions of periodic flooding and the impact of electric current.

Keywords: stray current, leakage current, polymer and cement mortar, cement-sand mortar, electrical resistance, building, restoration, humidity, flooding.

Вступление.

Исследования влияния постоянного электрического тока на бетон в обводненных условиях, результаты которых представлены в [1-3], подтвердили, что происходит существенная интенсификация процесса разрушения цементного камня и бетона в целом. Для защиты бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений железнодорожного транспорта, которые эксплуатируются в указанных условиях нами было предложено использование полимерцементных растворов на основе карбамидной смолы [4].

Известно, что полимерцементные растворы на основе цемента и карбамидной смолы обладают достаточно высокой прочностью при сжатии и растяжении. Кроме того, в процессе собственных исследований было установлено, что такие растворы обладают также высоким электросопротивлением и водостойкостью [5].

Таким образом, нами была разработана методика экспериментальных исследований усовершенствованных полимерцементных растворов.

Цель исследований – проверка защитных свойств разработанных полимерцементных составов на основе карбамидной смолы в качестве первичной (кладочные растворы) и вторичной (штукатурные растворы) защиты объектов, которые могут подвергаться или подвергаются разрушительным

воздействиям постоянного электрического тока и воды.

Методы исследований. Разработанная методика исследований заключается в моделировании условий эксплуатации зданий и сооружений из каменной (кирпичной) кладки с повышенной влажностью грунта и периодическим возникновением постоянного однонаправленного электрического потенциала (ПОЭП) в лабораторных условиях. Как доказано в [6] ПОЭП возникает на зданиях и сооружениях, которые находятся вблизи электрифицированного транспорта, в том числе и железнодорожного.

Для проведения исследований были изготовлены четыре одинаковых конструкции из кирпичной кладки, две из которых были изготовлены с применением полимерцементного кладочного раствора, остальные две являлись контрольными – с использованием в качестве кладочного традиционного цементно-песчаного строительного раствора. Схема и фотоснимок конструкции представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

На каждую конструкцию подавалась разность потенциалов на электроды из нержавеющей стали при напряжении 40 В. Электрод «+» эмитирует рельсовый путь, и представляет собой шину размерами 450×20×2 мм, уложенную на грунт. Толщина слоя грунта в каждой модели составляет 150 мм. Электрод «-» представляет из себя пластину из нержавеющей стали размерами

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

70×7×2 мм, заделанную в шов кладки на глубину 40 мм. Данный электрод расположен в верхней части кладки с обратной стороны конструкции и имитирует

шину заземления электрооборудования на зданиях железнодорожного транспорта. Кирпичная кладка установлена на изолирующий материал.

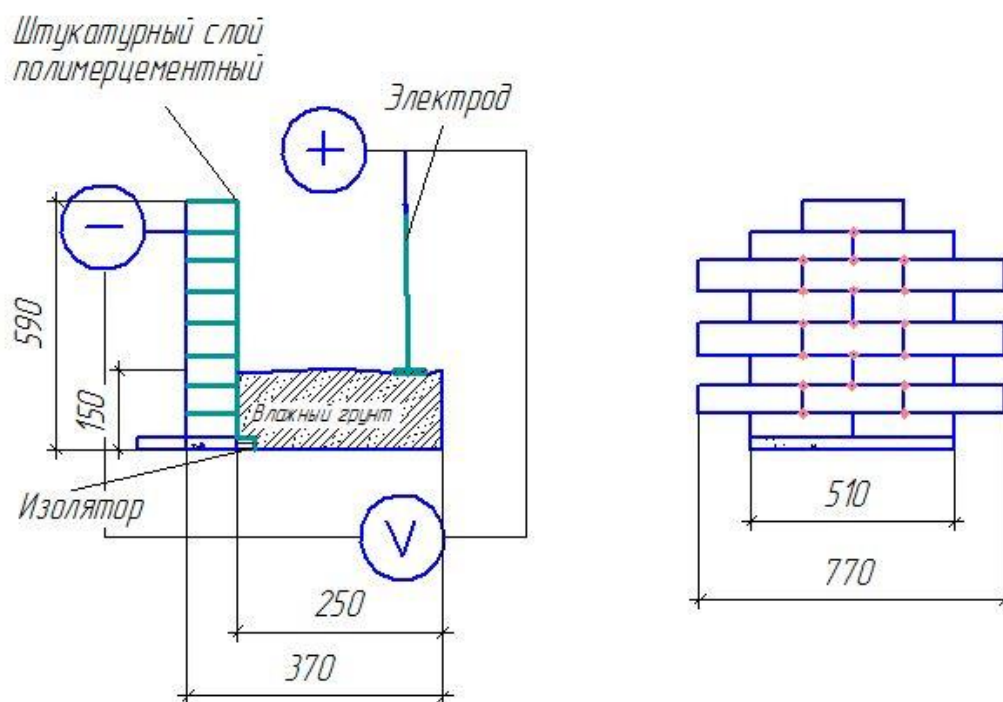


Рис. 1 Модель фрагмента здания и электрическая схема подачи разности потенциалов и измерения электрических характеристик

Как указано выше, всего изготовлено четыре конструкции из следующих материалов:

Образец №1 – кирпичная кладка с применением традиционного цементно-песчаного строительного кладочного раствора;

Образец №2 – кирпичная кладка с применением традиционного цементно-песчаного строительного кладочного раствора с оштукатуриванием поверхности таким же раствором;

Образец №3 – кирпичная кладка с применением полимерцементного раствора на основе карбамидной смолы в качестве кладочного;

Образец №4 – кирпичная кладка с применением полимерцементного раствора с оштукатуриванием поверхности таким же раствором.

Образец №1 и №2 являются контрольными, а №3 и №4 – основными. Конструкции находились в равных температурных и влажностных условиях. Грунт периодически увлажнялся для имитации осадков вблизи зданий и сооружений, а так же для поддержания заданной влажности. Как грунт, так и поверхность конструкций увлажнялись строго одинаковым количеством воды. Влажность грунта определялась в верхнем и нижнем его слоях. Сравнение влажности грунта после его сушки, показало допустимую разницу +/- 0,1 %.

В швы кирпичной кладки были заложены электроды из нержавеющей стали (рис. 2) размерами 50×70×2 мм для измерения потенциалов, возникающих на конструкции при прохождении постоянного электрического тока.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року



Рис. 2 Фотоснимок моделей фрагментов зданий из кирпичной кладки в лабораторных условиях

Электрические воздействия на все конструкции были также одинаковыми. Измерение потенциалов производилось мультиметрами Sanwa PC-500, а показания тока в цепи во время электрического воздействия автоматически записывались с помощью программы PC Link (Plus) в память ПК через каждые 2 секунды. Зарегистрированные данные экспортировали в программу MS Excel, дополнительно обрабатывали и по ним строили графики изменения указанных величин в течение времени.

Электрические воздействия на конструкции осуществлялись согласно следующим методическим особенностям:

1. На конструкции подается постоянный однонаправленный электрический потенциал с длительностью воздействия 8 минут. Схема электрической цепи и расположение измерительных приборов изображены на рисунке 3.

2. Показания электрического тока в цепи на протяжении измерений записываются на ПК.

3. Измерения разности потенциалов между измерительными электродами на конструкциях и электродом «-» осуществляется последовательно от верхней зоны к нижней. Суммарная длительность измерений на одной конструкции должна быть в пределах 40 секунд.

4. Значения разности потенциалов определяются в следующем порядке:

- без подачи напряжения (до начала измерений);
- сразу после начала подачи напряжения;
- через 8 минут после начала подачи напряжения в момент после отключения питания;
- через 5 мин. после отключения питания;
- через 10 мин после отключения питания.

Перед началом замеров отбираются пробы грунта из нижней и верхней зон для определения влажности.

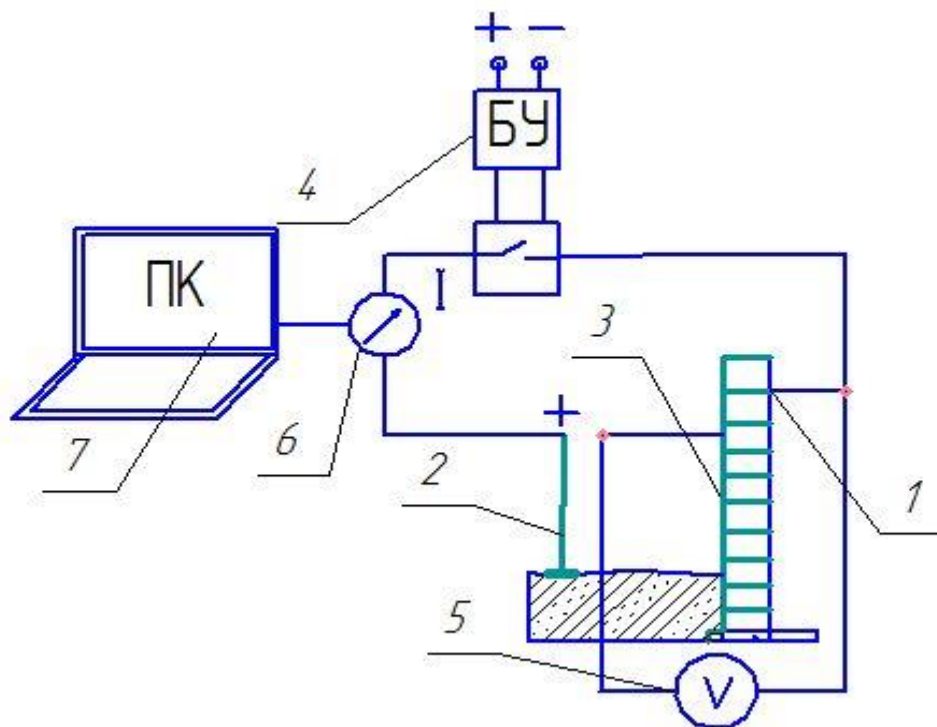


Рис. 3 Схема електричної цепі та розташування вимірних приладів: 1 – електрод «-»; 2 – електрод шина «+»; 3 – вимірні електроди; 4 - блок управління; 5 - мультиметр, визначає потенціал на електродах; 6 - мультиметр, вимірює струм в цепі; 7 - портативний комп'ютер.

Предварительные экспериментальные исследования. Нами были спланированы и проведены предварительные экспериментальные исследования с целью отладки и дальнейшей корректировки методики исследований перед длительными испытаниями. В качестве переменного фактора была принята влажность грунта и образцов. Исследования проводились при влажности грунта 3,5; 8; 15 и 21 %.

По результатам измерения разности потенциалов на электродах образцов во время подачи напряжения от внешнего источника питания были построены графики (рис.4-7).

Анализируя данные зависимости, можем сделать следующие выводы:

- для всех образцов характерно возрастание потенциала от электрода №1 к электродам №14-16;

- потенциалы на электродах образцов на основе цементно-песчаного раствора имеют более высокие величины, чем на образцах на основе полимерцементного раствора;

- потенциалы на электродах образца на основе цементно-песчаного раствора с оштукатуренной поверхностью выше чем на аналогичном образце без штукатурки, что может говорить о том, что наиболее благоприятным путем для прохождения тока является путь через кладочный раствор и слой штукатурки;

- при увлажнении грунта (песка) и конструкций потенциалы на них резко увеличиваются до 10 раз;

- при отключении источника питания потенциалы на электродах постепенно падают, что говорит о поляризации образцов (рис.8); для кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе потенциалы падают с величинами 1,4 - 0,7 В. Для кладки с оштукатуренной поверхностью на

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

стандартном растворе потенциалы падают с величины 1,75 - 0,9 В;

- поляризация же образцов на основе полимерцементного раствора как с

оштукатуренной поверхностью, так и без практически отсутствует. Величина потенциала по поверхности стены колеблется в пределах 0,4 - 0,005 В.



Рис. 4 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе во время подачи напряжения при различной влажности грунта

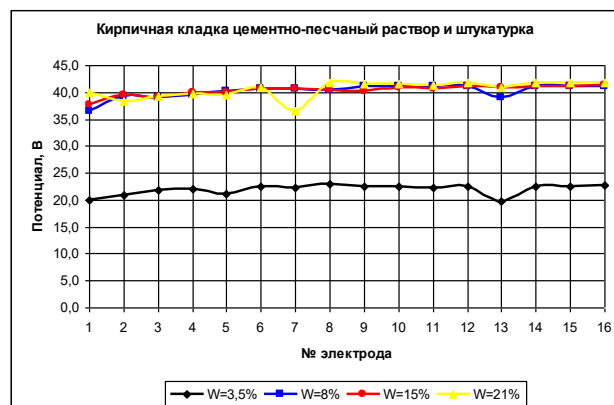


Рис. 5 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на цементно-песчаном растворе и штукатурке во время подачи напряжения при различной влажности грунта



Рис. 6 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на полимерцементном растворе во время подачи напряжения при различной влажности грунта



Рис. 7 Потенциалы на электродах образца кирпичной кладки на полимерцементном растворе и штукатурки во время подачи напряжения при различной влажности грунта

Однако наиболее важной электрической характеристикой в наших исследованиях является не потенциалы, а электрический ток в цепи. В предыдущих исследованиях нами было показано, что именно ток является критерием прохождения физико-химических процессов в материалах на основе цемента. Ток может раскрыть суть проходящих процессов (поляризации, массопереноса и т.д.). По результатам измерения силы тока в цепиво время подачи напряжения от внешнего

источника питания были построены графики (рис.9-12).

Анализируя данные графические зависимости изменения силы тока в цепи образцов при включенном напряжении 40 В при различной влажности, можем сделать следующие выводы:

- наибольшая величина силы тока (до 12 мкА) наблюдается в образце кирпичной кладки №1 на основе цементно-песчаного раствора (кроме влажности 3,5% – образец

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

№2), наименьшая – у образцов на основе полимерцементного раствора;

- во всех образцах первые 60-90 сек наблюдаются скачки тока с амплитудой 3-4 мкА длительностью 5-10 секунд, затем по прошествии 1-2 минут скачки силы тока прекращаются; данные скачки могут

свидетельствовать о проходящих физико-химических процессах в образцах во время приложения напряжения;

- в некоторых случаях наблюдается некоторый сдвиг скачков от начала воздействия в более поздние сроки.

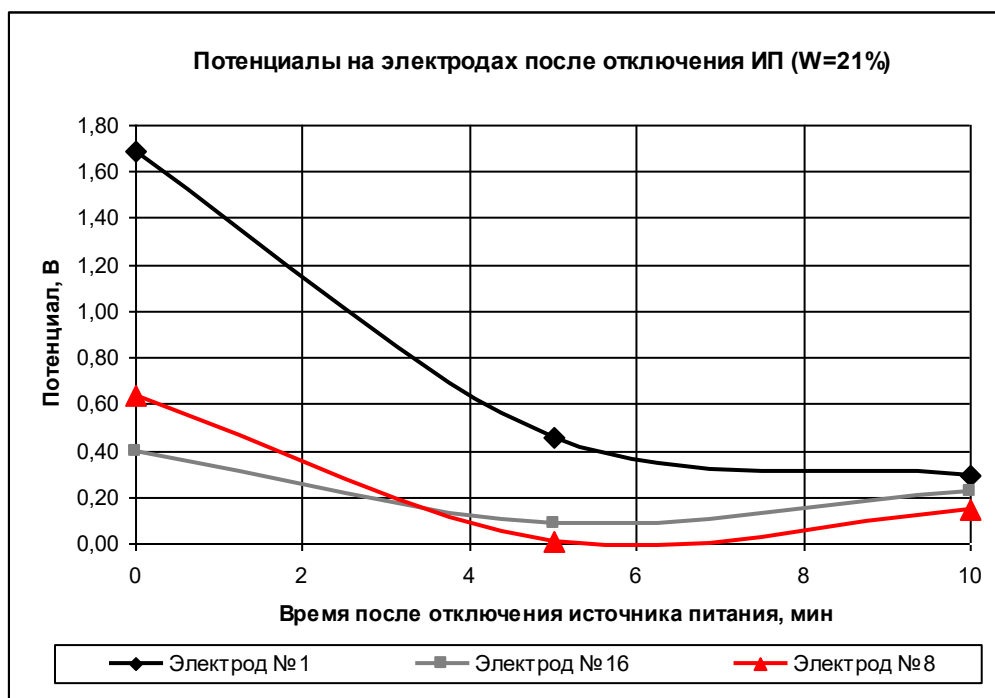


Рис. 8 Потенциалы на электродах №1,8 и 16 после отключения внешнего источника питания при влажности 21 %

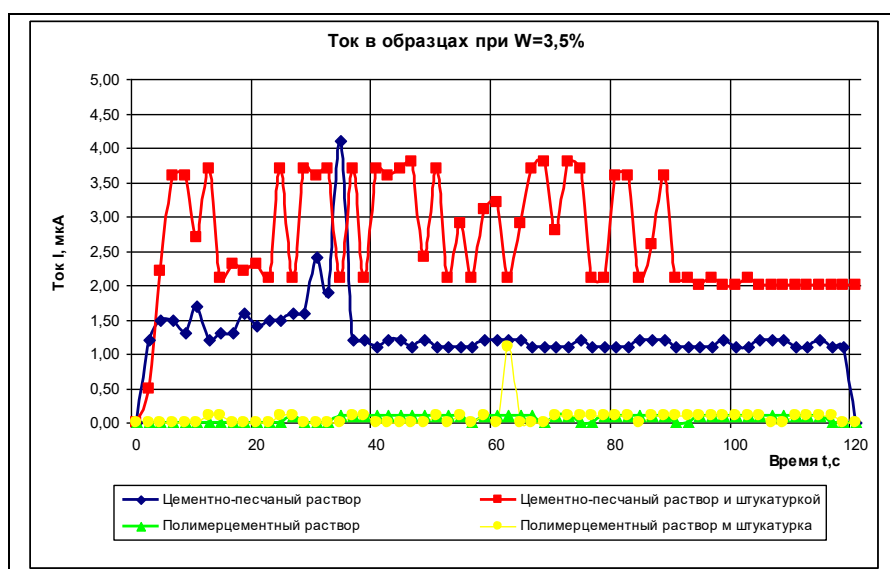


Рис. 9 Сила тока в образцах при влажности грунта W=3,5%

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

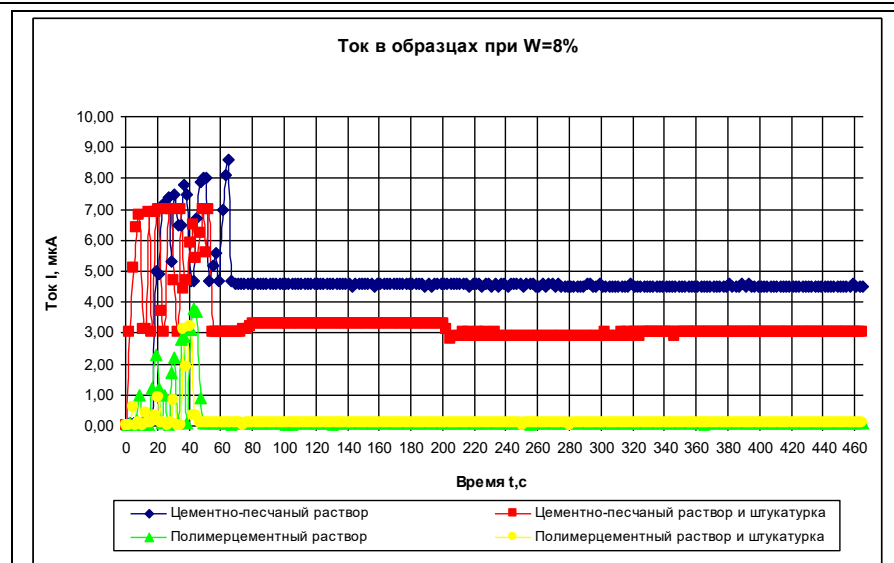


Рис. 10 Сила тока в образцах при влажности грунта W=8%

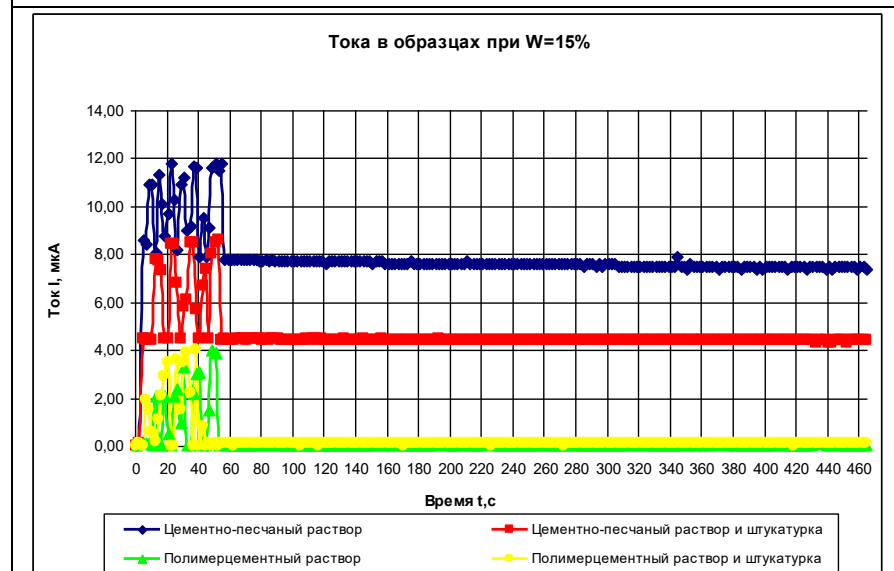


Рис. 11 Сила тока в образцах при влажности грунта W=15%

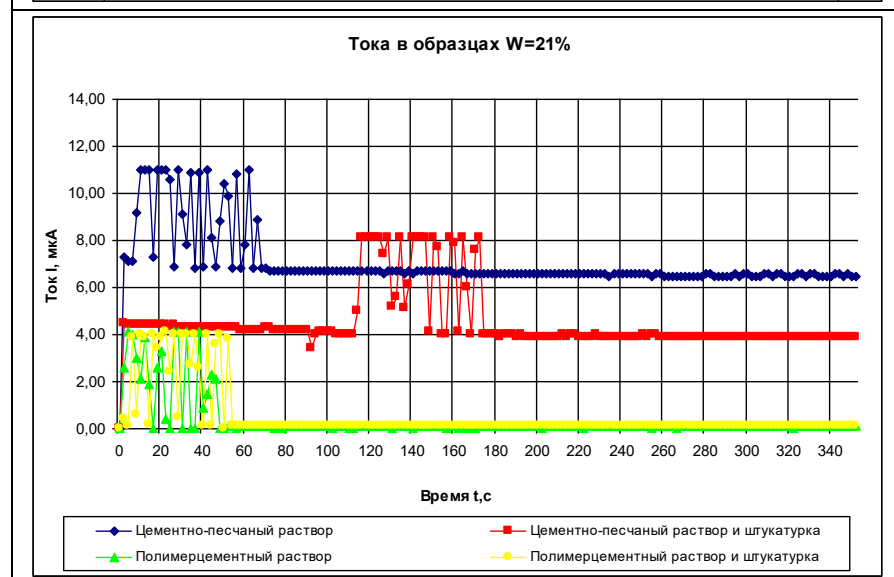


Рис. 12 Сила тока в образцах при влажности грунта W=21%

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Выводы. Таким образом, полученные экспериментальные данные и сделанные по ним выводы подтверждают преимущества полимерцементных растворов при строительстве и восстановлении зданий и сооружений эксплуатируемых в сложных условиях железнодорожного транспорта. Однако очень важным является продолжение экспериментальные исследования для более глубокого понимания физико-химических процессов в каменных кладках из различных материалов.

Список используемых источников

1. Плагин А.Н., Плагин Ал.А., Дудин Ал. А., Борзяк О.С., Плагин А.А., Плагин Д.А. Исследование влияния токов утечки и блуждающих токов на здания и сооружения, расположенные возле электрифицированных железнодорожных путей. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009, вип. 40. – с.88-104.
2. Плагин А.А. Исследование влияния электрического поля на прочность цементного камня [Текст] / А.А. Плагин, Ал.А. Плагин, А.А. Забияка, В.В. Перестюк, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.130. – С.56-64.
3. Плагин А.Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плагин, Ал.А. Плагин, А.А. Конев, И.А. Козеняшев, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.130. – С.64-71.
4. Нестеренко С.Г. Розроблення полімерцементного розчину оптимального складу [Текст] / С.Г. Нестеренко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2013. – Вип.138. – С.188-192.
5. Плагин А.Н. Экспериментальная проверка технологических характеристик и электросопротивления полимерцементного раствора с карбамидной смолой [Текст] / В.В. Палий, А.Н. Пшинько, А.Н. Плагин, А.А. Плагин, С.Г. Нестеренко, А.А. Конев // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип.134. – С.235-241.
6. Блуждающие токи на конструкциях, зданиях и сооружениях, расположенных вблизи электрифицированных постоянным током участках железных дорог/ А.Н. Плагин, А.А. Плагин, Ал.А. Плагин [и др.] // Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті. - Харків, 2009. - Вип. 109. - С.131-143.

Рецензент д-р техн. наук, профессор Шабанова Г.Н.

Плагин Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 771-46-91; E-mail: plugin07@rambler.ru

Нестеренко Сергій Григорович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097) 905-00-17; E-mail: nesterenko-sg@mail.ru

Конев Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, інженер кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (097) 722-59-68; E-mail: konev-0411@mail.ru

Никитинський Андрій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 908-94-30; E-mail: nikitinskiy-av@mail.ru

Колесніков Марк Олександрович, студент 5-го курсу будівельного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099)793-42-99; E-mail: 380997934299@mail.ru

Plugin Oleksii Andriyovich, Ph.D, Assoc.Prof. of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 771-46-91; E-mail: plugin07@rambler.ru

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Nesterenko Sergiy, postgraduate of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097) 905-00-17; E-mail: nesterenko-sg@mail.ru

Konev Oleksandr Anatoliyovich, Ph.D, engineer of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (097) 722-59-68; E-mail: konev-0411@mail.ru

Nikitinskiy Andrii Volodimirivich, Ph.D, Assoc.Prof. of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (050) 908-94-30; E-mail: nikitinskiy-av@mail.ru

Kolesnikov Mark Oleksandrovich, 5th year student of the department "Building materials and constructions" Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (099)793-42-99; E-mail: 380997934299@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 620.197.1

РОЗРОБКА СКЛАДІВ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОКРИТЬ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНСТРУКЦІЙ ВІД ЕЛЕКТРОКОРОЗІЇ

Асп .В.В. Касьянов.

РОЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ

Асп .В.В. Касьянов.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION ELECTRICALLY CONDUCTIVE COATING PROTECTION FROM ELECTRIC CORROSION STRUCTURES

Postgraduate V. Kasyanov

У статті виконані експериментальні дослідження впливу кількості затверджувача, та наповнювача на електричний опір та міцність відповідного в'язучого. Виконані дослідження підтвердили можливість виготовлення електропровідних екранів для електрокорозійного захисту бетону та залізобетонних конструкцій . Аналіз результатів показує що електричний опір зразків зі складами коливається у широких межах від 94 Ом до 13400 Ом. Максимальна величина електричного опору 13400 Ом спостерігається у складу $PC/Ш = 1$ $PC/Ш+H = 0,5$. Дослідженнях складів міцності на стиск знаходиться у межах 8,8 – 16,1 МПа.

Ключові слова: блукачі струми, захисні екрани, електропровідність, електричний опір.

В статье выполнены экспериментальные исследования влияния количества отвердителя и наполнителя на электрическое сопротивление и прочность соответствующего вяжущего. Выполненные исследования подтвердили возможность изготовления электропроводящих экранов для электрокоррозионной защиты бетона и железобетонных конструкций. Анализ результатов показывает, что электрическое сопротивление образцов с составами колеблется в широких пределах от 94 Ом до 13400 Ом. Максимальная величина электрического сопротивления 13400 Ом наблюдается в состав $PC/Ш = 1$ $PC/Ш+H = 0,5$. Исследованиях складов прочности на сжатие находится в пределах 8,8 - 16,1 МПа.

Ключевые слова: блуждающие токи, защитные экраны, электропроводность, электрическое сопротивление.

In this article the experimental study of the effect of the amount of hardener and filler on the electrical resistance and the strength of the corresponding binder. Completed studies have

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

confirmed the possibility of making electrically conductive screens for electrocoating protection of concrete and reinforced concrete structures . From mineral binders are the most suitable liquid glass. With the known mineral fillers are conductive graphite powder. To improve durability and water resistance materials based on liquid glass to blast them add granulated slag. Analysis of the results shows that the electrical resistance of the samples with the compositions varies widely from 94 Ohms to 13400 Ohms. The maximum value of the electric resistance 13400 Ohms is observed in the composition of the $LG/F = 1$ $LG/S+F = 0,5$. Studies warehouses compressive strength is in the range of 8.8 - 16.1 MPa.

Keywords: stray currents, filters, electrical conductivity, electrical resistance.

Вступ. Рейковий транспорт часто є електрифікованим постійним або змінним струмом. Відомо, що струми витоків і блукаючі струми від рейок електрифікованих постійним струмом залізниць обумовлюють електрокорозію металевих конструкцій і арматури залізобетонних конструкцій. Проте експлуатація будівель і споруд біля електрифікованих ділянок залізниць показує, що в конструкціях із бетону і кам'яної кладки пошкодження також утворюються набагато швидше, ніж далеко від джерел струму. Одним із способів захисту є відведення блукаючих струмів від фундаментів і підземних частин будівель і споруд за допомогою екранів, наприклад, із металевої сітки, які влаштовують навколо фундаментів безпосередньо в ґрунті. Проте металеві екрани є коштовними і недовговічними. Тому розробка електропровідних складів шпаклівок або штукатурок для таких екранів є актуальною проблемою.

Мета роботи – розробка складу шпаклівки або штукатурки, яка матиме найкращі показники електропровідності та міцності, для електропровідних покриттів.

Аналіз існуючих матеріалів, придатних для виготовлення електропровідних покриттів, показав, що шпаклівки складають із в'язучих речовин і наповнювачів, штукатурки містять ще й заповнювачі. Полімерні в'язучі мають високий електричний опір, тому їх застосування не є доцільним. Із мінеральних в'язучих найбільш придатним є рідке скло. Із відомих мінеральних наповнювачів

електропровідним є графітовий порошок. Для підвищення міцності й водостійкості матеріалів на основі рідкого скла до них додають доменний гранульований шлак.

Матеріали і методи досліджень. Для досліджень обрано як в'язучу речовину – рідке скло РС, як електропровідний наповнювач – графітовий порошок Н, як наповнювач, що забезпечує фізико-механічні та гідрофізичні властивості – доменний гранульований шлак Ш.

Із цих матеріалів готували суміші зі співвідношеннями компонентів в межах РС/(Ш+Н) – від 0,75 до 2 (показник, що відповідає за легкоукладальність суміші), РС/Ш – від 0,4 до 1 (показник, що відповідає за міцність).

Для визначення електропровідності суміш наносили на поверхню зразків балочок розміром 160×40×40 мм із цементно-піщаного розчину. Електропровідність оцінювали за величиною електричного опору, яку вимірювали через 2 доби природного твердіння за схемою, наведеною на рис.1. Висновок про максимальну електропровідність складу робили за мінімальною величиною електричного опору.

Для визначення міцності із сумішей виготовляли зразки-балочки розміром 40×10×10 мм, які після 2 діб природного твердіння випробували на міцність.

Результати досліджень наведені на графіках рис.2–3.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року



Рис.1. Схема і вигляд установки для вимірювання електричного опору електропровідних покриттів

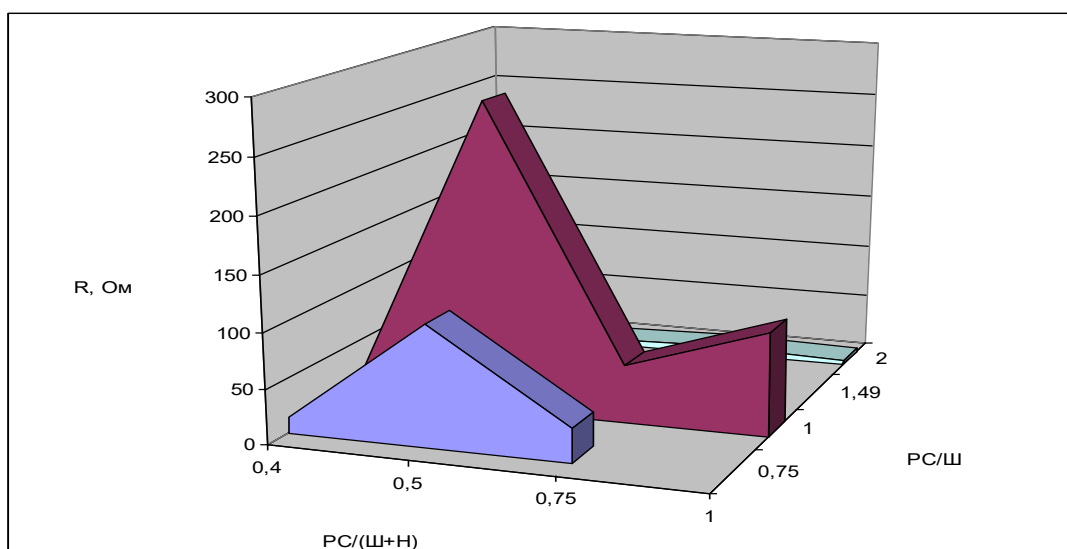
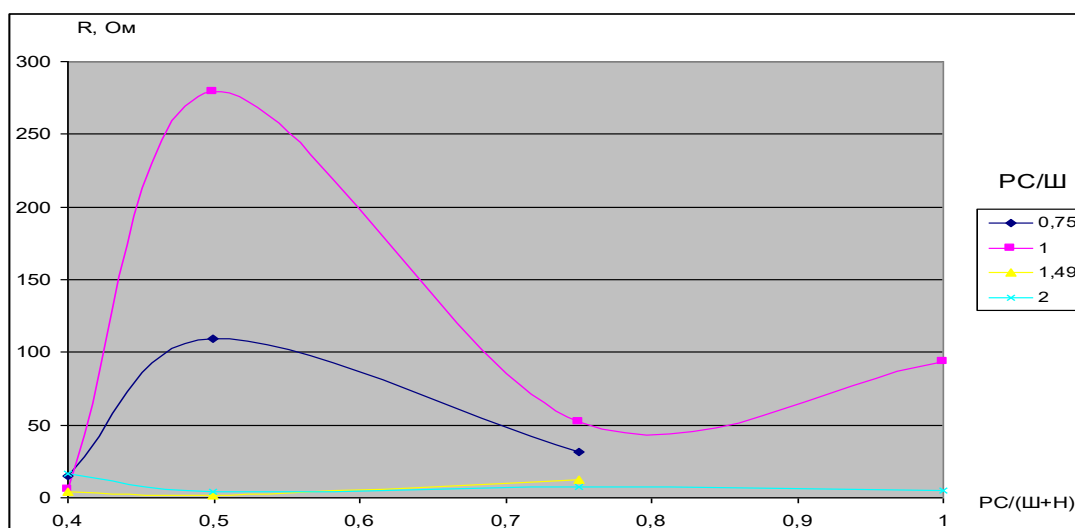


Рис.2 Графіки залежності електричного опору R зразку електропровідного складу від відношення кількості рідкого скла до кількості наповнювачів $PC/(Ш+Н)$ і відношення кількості рідкого скла до кількості доменного гранульованого шлаку $PC/Ш$

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

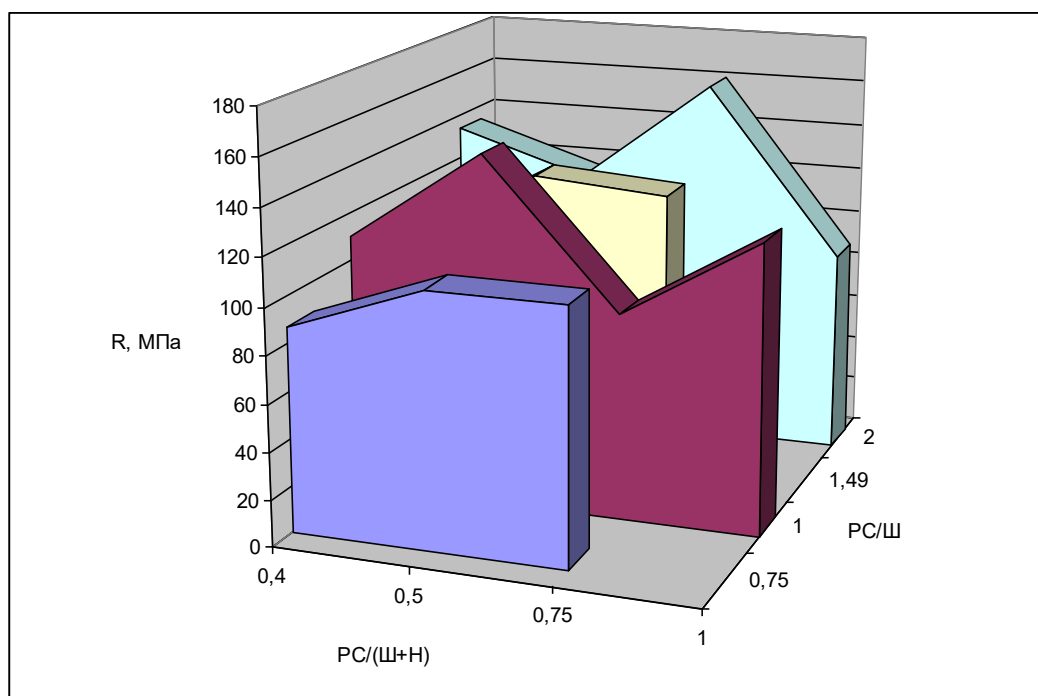
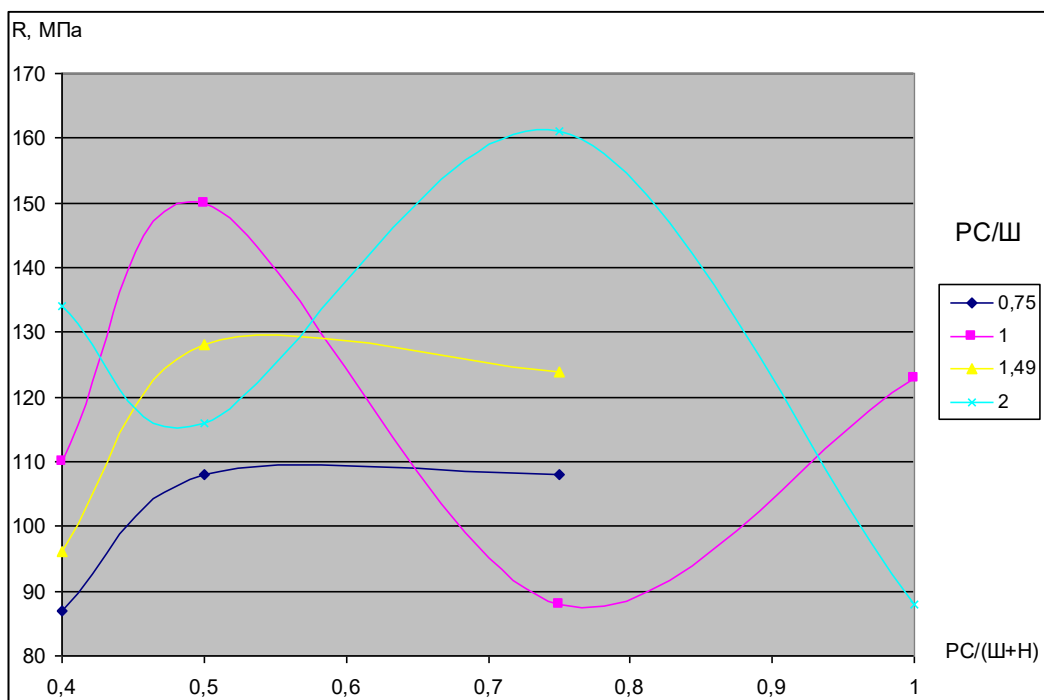


Рис.3 Графіки залежності міцності електропровідного складу R від відношення кількості рідкого скла до кількості наповнювачів PC/(Ш+Н) і відношення кількості рідкого скла до кількості доменного гранульованого шлаку PC/Ш

Аналіз результатів досліджень показав, що електричний опір зразків складів коливається у широких межах від 94 до 13400 Ом. Мінімальні величини

електричного опору а, отже, максимальна електропровідність, спостерігаються у складів зі співвідношенням PC/Ш = 1,5–2 за будь-яких співвідношень PC/(Ш+Н).

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Міцність на стиск досліджених складів знаходиться у межах 8,8–16,1 МПа з двома незначними максимумами 16,1 МПа (РС/Ш = 2; РС/Ш+Н = 0,75) і 15 МПа (РС/Ш=1; РС/Ш+Н=0,5). З них склад РС/Ш=1; РС/Ш+Н=0,5 характеризується найкращим сполученням електропровідності (мінімальний електричний опір зразка 7,5 Ом) і міцності 15 МПа.

Висновки і рекомендації

Для улаштування електропровідних захисних екранів на поверхнях фундаментів рекомендується шпаклівка із рідкого скла РС, доменного гранульованого шлаку Ш і графітового порошку Н, які слід брати у співвідношенні РС/Ш=1; РС/Ш+Н=0,5. Цей склад потребує дослідження водостійкості і, за необхідності удосконалення з метою її підвищення.

Список використаних джерел

1. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів та розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2001, NEQ).
2. Цемент-Вам - Исследование изменений прочности бетона cement-vam.ru/Issledovanie_izmenenii_prochnosti_betona.htm.
3. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции.
4. Вшивков С.А., Тюкова И.С. Технология получения композиционных полимерных наноматериалов.
5. Коррозия и защита сооружений на электрифицированных железных дорогах / А.В.Котельников, В.И.Иванова, Э.П.Селедцов, А.В.Наумов; под ред.А.В.Котельникова.- М.: Транспорт, 1974.- 152 с.
6. Степанова В.Ф. Эффективные способы вторичной защиты железобетонных конструкций на основе полимерных композиций КОНСОЛИД и ВУК / В.Ф.Степанова, С.Е.Соколова, Б.И. Шаповал // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века – 2008, – №11.
7. Электроповерхностный потенциал простых веществ – основа моделирования прочностных и коррозионных свойств стальных и железобетонных конструкций / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Ю.Н.Горбачева, А.В.Афанасьев // Науковий вісник ЛНАУ.- Луганськ, 2010.- Вип.14.- С.19-41.

Рецензент д-р техн. наук, професор Плугін А.А.

Касьянов Владимир Владимирович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-63. E-mail: kasyanov.vladimir@gmail.com

Kasyanov, Vladimir, graduate faculty building materials are, structures and buildings Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-63. E-mail: kasyanov.vladimir@gmail.com

Стаття прийнята 25.05.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 543.442.3:691.3

ЗАВИСИМОСТЬ УГЛОВ ОТРАЖЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА КРИСТАЛЛОВ

Докт. хим. наук А.Н. Плугин, докт. техн. наук А.А. Плугин,
канд. техн. наук О.С. Борзяк

ЗАЛЕЖНІСТЬ КУТІВ ВІДБИТТЯ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ЕЛЕКТРОПОВЕРХНЕВОГО ПОТЕНЦІАЛУ КРИСТАЛІВ

Д-р хім. наук А.М. Плуґін, докт. техн. наук А.А. Плуґін,
канд. техн. наук О.С. Борзяк

DEPENDENCE OF THE ANGULAR REFLECTION OF X-RADIATION FROM ELECTRIC POTENTIAL OF THE SURFACE OF CRYSTALS

Dr. Chem. Sciences A.N. Plugin, DSc A.A. Plugin, PhD O.S. Borziak

Виконані дослідження показали, що в рентгенофазовому аналізі рентгенівські промені проходять головним чином в зазорі між блоками кристалів і кристалогідратів. Кут відбиття рентгенівського випромінювання - 2θ визначається величиною абсолютного електроповерхневого потенціалу і додаткових потенціалів від комплексного дипольного моменту односпрямованих диполів молекул води в кристалогідратах та індукованого дипольного моменту поверхневих атомів кисню. Це підтверджується лінійною залежністю кута відбиття рентгенівського випромінювання від електроповерхневого потенціалу речовини.

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз, дифракція, електроповерхневий потенціал, методи аналізу

Выполненные исследования показали, что при рентгенофазовом анализе рентгеновские лучи проходят главным образом в зазоре между блоками кристаллов и кристаллогидратов. Угол отражения рентгеновского излучения (2θ) определяется величиной абсолютного электроповерхностного потенциала и дополнительных потенциалов от комплексного дипольного момента однонаправленных диполей молекул воды в кристаллогидратах и индуцированного дипольного момента поверхностных атомов кислорода. Это подтверждается линейной зависимостью угла отражения рентгеновского излучения от электроповерхностного потенциала вещества.

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ, дифракция, электроповерхностный потенциал, методы анализа

To study the various building materials at the atomic and molecular level structure are used of X-ray analysis method. These methods use X-ray diffraction in crystals. The most common is a method in which measured the distance between planes in the crystal lattice of the material. Modern understanding of the physical nature of the electric charge and the surface electric potential will increase the information content of the X-ray studies and raise it to a new level. The characteristic for determining the substance is a dual reflection angle. The change of the angle is determined by the absolute electrical potential surface of the material and additional potentials. Additional potentials arise from the complex of the dipole moment of water molecules which are directed to one side in crystalline hydrates and of the induced dipole moment of the oxygen atoms,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

which is on the surface. Accomplished studies have shown that X-rays penetrate not only between the planes of the crystal lattice, but also in the gap between the blocks of crystals and crystalline hydrates.

Keywords: X-ray analysis, diffraction, electric potential of the surface, methods of analysis

Введение.

В строительном материаловедении для исследования продуктов гидратации цемента применяют рентгенофазовый анализ, в основе которого лежит рентгеновское излучение. Сущность его состоит в определении на полученных приборных записях (рентгенограммах РГ) межплоскостных расстояний в кристаллических решетках исследуемых соединений для дальнейшей идентификации их по таблицам [1]. Современные представления о физической сущности электрического заряда и абсолютного электроповерхностного потенциала (ЭПП) [2, 3] позволят увеличить информативность рентгенографических исследований и поднять ее на новый качественный уровень.

Анализ последних исследований и публикаций.

Рентгеновское излучение, используемое в научных исследованиях и производстве, создается в рентгеновой трубке на аноде (из определенных тяжелых металлов) под влиянием потока электронов из катода при высоком напряжении между анодом и катодом. Источником электронов служит катод в виде вольфрамовой спирали.

По [1], применение рентгеновского излучения для исследования кристаллических веществ основано на том, что его длина волны сопоставима с расстоянием между упорядоченно расположенными атомами в решетке кристаллов, которая для него является естественной дифракционной решеткой. Сущность рентгеновских методов анализа, также по [1], как раз и заключается в изучении дифракционной картины, получаемой при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов.

В основе рентгенографического анализа лежит уравнение Вульфа-Брегга [4], которое определяет направление максимумов дифракции упруго рассеянного на кристалле рентгеновского излучения и имеет вид:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние, θ – угол скольжения (брэгговский угол), n – порядок дифракционного максимума, λ – длина волны рентгеновского излучения (зависит от материала анода).

Уравнение (1) выведено с помощью схемы для дифракционной решетки с периодом d на рис. 1 [4].

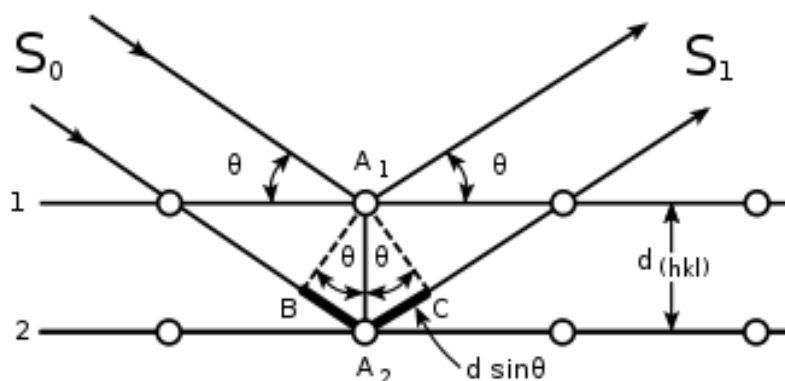


Рис. 1. Схема для вывода закона Брэгга

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Согласно этой схеме и соответствующим предположениям падающая волна последовательно отражается от каждого слоя периодической структуры.

При этом интенсивные пики рассеяния наблюдаются при условии, что рассеянная волна совпадает по фазе с падающей.

Принято, что условие Вульфа-Брэгга позволяет определить межплоскостные расстояния d в кристалле, так как λ обычно известна, а углы θ измеряются экспериментально.

Исходя из представлений о реальной субмикроструктуре кристаллов и их электроповерхностных свойствах [5-8] предположение о проникании рентгеновских лучей вглубь кристаллической решетки не соответствует действительности. Это обусловлено тем, что реальной для кристаллических веществ является зернистая структура. У железа, например, она состоит из ферритовых зерен многогранной формы, в свою очередь образованных намного меньшими блоками правильной формы (рис. 2, а).

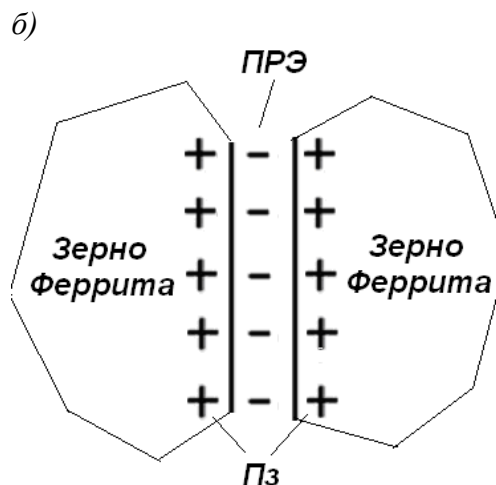
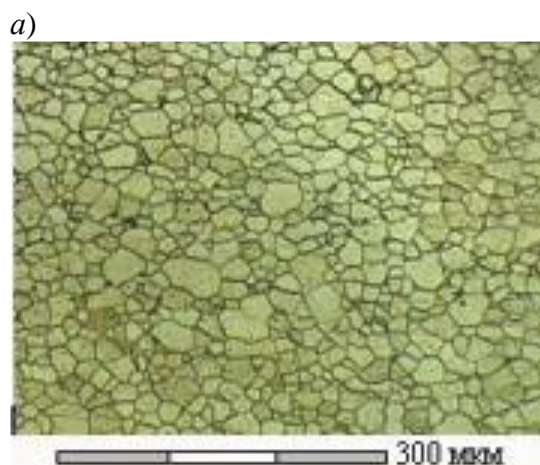


Рис. 2. Зернистая микроструктура малоуглеродистой стали (а) и схема контакта между зернами феррита (б)

Такая структура формируется еще на стадии охлаждения расплава, когда растущие кристаллические блоки и зерна феррита были окружены тонкой прослойкой расплава. При этом на границе этих зерен возникает двойной электрический слой ДЭС, состоящий из слоя потенциалопределяющих ионов ПОИ Fe^{2+} на поверхности зерна и слоя противоионов ПРЭ (аналог противоионов) со стороны прослойки, рис. 2, б. Расстояние между ПОИ на поверхности блока или зерна значительно больше, чем размер атома железа. Соответственно, расстояние между ПРЭ вдоль прослойки также значительно больше, чем размер этого атома.

Для цементного камня реальная структура, как известно [7], является

многоуровневой, основными уровнями, определяющими его структуру, взаимодействия и свойства являются микро- и субмикроуровни. Микроуровень, характеризующиеся размерами структурообразующих элементов – цементных частиц в пределах 1-100 мкм, средний наиболее представительный - 50 мкм. Субмикроуровень характеризуется размерами блоков кристаллогидратов портландита и гидросульфаталюминатов (этtringита и гидромоносульфаталюмината) со средним размером примерно 5000 Å (0,5 мкм). В промежутках между ними находятся намного меньшие по размерам и наибольшие по количеству структурные элементы – частицы (размер до 100 Å) и глобулы (до 1000 Å) гидросиликатов кальция.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Кристаллогидраты имеют положительный ЭПП, гидросиликаты - отрицательный. Между всеми структурными элементами находится вода (дисперсионная среда) в ее физико-химически связанном в ДЭС и свободном состоянии. Такая структура



Рис. 3. Блок кристаллогидрата портландита

начинает формироваться уже через несколько минут гидратации.

На рис. 3, 4 представлены электронно-микроскопические снимки (ЭМС) блоков портландита и гидросульфатоалюминатов кальция.



Рис. 4. Блоки гидроалюминатов кальция на электронной стереомикрофотографии реплики с поверхности скола камня С₃А, гидратированного 7 сут. [9]

Редкое расположение ПОИ (активных центров), и намного большее расстояние между ними на поверхности кристаллов экспериментально доказано Г.И. Дистлером с сотрудниками с помощью электронно-микроскопического декорирования поверхности кристаллов [10]. Теория Г.И. Дистлера доказывает, что все поверхностные процессы, в том числе адсорбция, кристаллизация и др., протекают только на электрически активных центрах, на электронейтральной поверхности между ними они не протекают.

По нашей теории [11] фотоны рентгеновского излучения – это реоны (или реон-ареонные пары), т.е. заряженные отрицательно почти безмассовые частицы. Следовательно, рентгеновский луч не сможет заходить внутрь кристаллической решетки, т.к. даже если бы в ней были места, внутри кристалл электронейтральный. В то же время он легко зайдет в прослойку между

блоками, где основные поверхности между блоками не взаимодействуют друг с другом из-за их электронейтральности, и на него будут действовать притягивающая сила положительных ПОИ. К остальной поверхности между ПОИ, где отсутствует заряд, они являются индифферентными, а от отрицательных ПРИ будут отталкиваться.

В связи с изложенным рентгеновские лучи будут проникать через прослойки между блоками вдоль их граней, делая этим кристалл прозрачным для рентгеновских лучей.

Цель и задачи исследования – увеличение информативности рентгенографических исследований кристаллических веществ на основе развития теоретических представлений о физической сущности электрического заряда и абсолютного электроповерхностного потенциала веществ.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Исследование зависимости двойного угла отражения 2θ от электроповерхностного потенциала

Рассмотрим механизм движения рентгеновского луча по прослойке между блоками кристаллогидрата, по аналогии со схемой на рис.5.

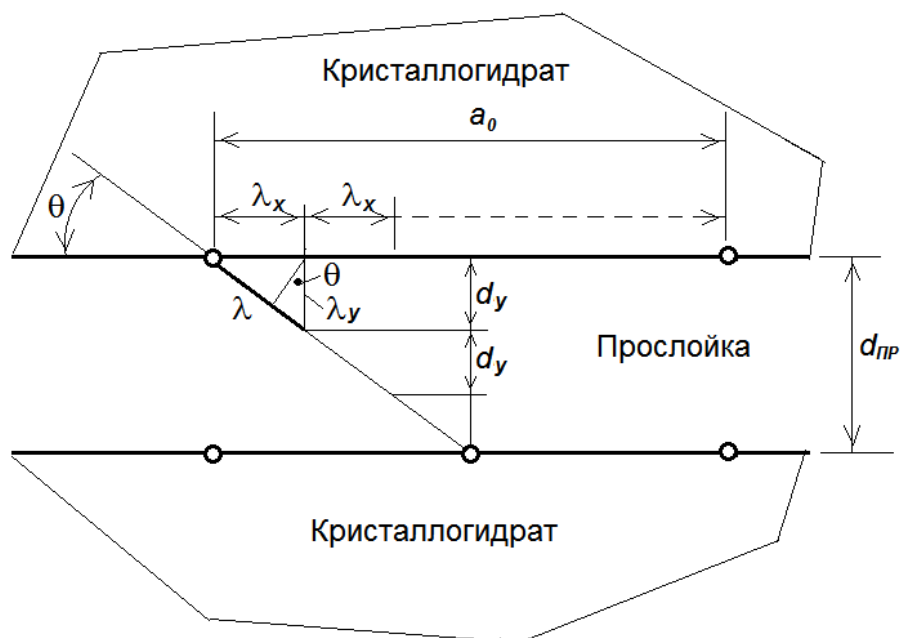


Рис.5. Схема перемещения рентгеновского луча в прослойке между блоками кристаллогидратов

Согласно схеме на рис. длина волны λ перемещается под влиянием ПОИ вдоль прослойки и по нормали к граням блоков. Расстояние, на которое перемещается рентгеновский луч по нормали к граням при этом равно:

$$\lambda = d_y \cdot \sin\theta \quad (2)$$

Максимум интенсивности будет, если между гранями блоков, т.е. по ширине прослойки уложится четное число длин волны (1).

Самый большой максимум возникнет, если луч уложится четное раз между ПОИ (расстояние a_0), т.е. придет строго от одного ПОИ к другому.

Это условие является главным отличием от традиционных представлений Брэгга, где луч проходит между плоскостями в глубину решетки.

Расстояния d и a_0 характерны для каждого вещества, определяют его электроповерхностные свойства и взаимодействия между кристаллогидратами.

Для анализа зависимости двойных углов рентгеновского отражения от ЭПП на РГ исследуемых веществ были выбраны дифракционные максимумы с наибольшей интенсивностью, они и будут характеризовать грани блоков кристаллов.

В соответствии с уравнением (1) угол скольжения зависит от длины волны излучения, поэтому рассматривались рентгенограммы, полученные с применением одного типа трубки – с медным анодом.

В таблице 1 приведены значения абсолютного ЭПП [7], а так же 2θ различных веществ [1]. График зависимости двойных углов от ЭПП различных веществ, построенный по исходным на РГ углам, представлен на рис. 6. Как видно, в целом наблюдается линейная возрастающая зависимость двойных углов от ЭПП. Это обусловлено тем, что большинство абсолютных ЭПП (в вакууме) продуктов гидратации цемента, кроме ЭПП для SiO_2 , имеют отрицательный знак, что оказывает

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

отталкивающее действие на электроны рентгеновского луча, увеличивая угол их отражения от поверхности блоков кристаллов. Однако, данные о 2θ для этtringита, гидромосульфоалюминатов (ГМСА) и MgO сильно выходят за рамки этой зависимости. У ГМСА - значительно меньше, у MgO - существенно больше.

Такое отклонение может быть обусловлено тем, что большое количество молекул воды, находящихся в кристаллогидратах этtringита и ГМСАК, образуют комплексный диполь, дипольные молекулы в котором однонаправлены, по аналогии с молекулами в тетраэдрическом ассоциате воды, рис. 7 [5, 7]. Это создает дополнительный дипольный момент и дополнительный ЭПП [12].

Таблица 1

Данные о двойных углах отражения рентгеновского излучения и электроповерхностных потенциалах ряда окислов, минералов портландцемента и продуктов его гидратации

Вещество	Абсолютный ЭПП, В	2θ (расч.)	$2\theta_0$ (эксп.)	$K_{\mu,В}$	$K_{пол}$
1	2	3	4	5	6
MgO	-1,12	42,9	55		0,78
CaO	-1,38	45,4	47,8		0,955
SiO ₂	+0,55	32	33,6		0,952
Алит	-0,74	40,4	40,4		
Белит	-0,55	39,6	40,38		0,981
C ₃ A	-0,9	41,63	41,63		
C ₄ AF	-0,74	39,7	39,7		
CSH(I)	-0,29	36,87	36,87		
CSH(II)	-0,59	38,7	36,8		1,049
Портландит	-1,24	43,22	43,22		
Кальцит	-0,2	36,9	36,9		
Этtringит	-0,9	40,67	11,4	3,4	1,049
CaSO ₄ ·2H ₂ O	-0,42	38	38		
CaSO ₄	-0,49	39,1	39,8		0,983
ГМСАК	-0,65	38,43	12,6	3,05	1,048

Величину дополнительного ЭПП определим по выражению [5, 6]:

$$\Delta ЭПП = \frac{\mu_B \cdot n_B}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot b_B^2} \quad (3)$$

где μ_B – дипольный момент молекулы воды ($0,61 \cdot 10^{-30}$ Кл·м);

n_B – число молекул воды в структуре (молекуле) вещества;

b_B – размер молекулы воды (2,8 Å)

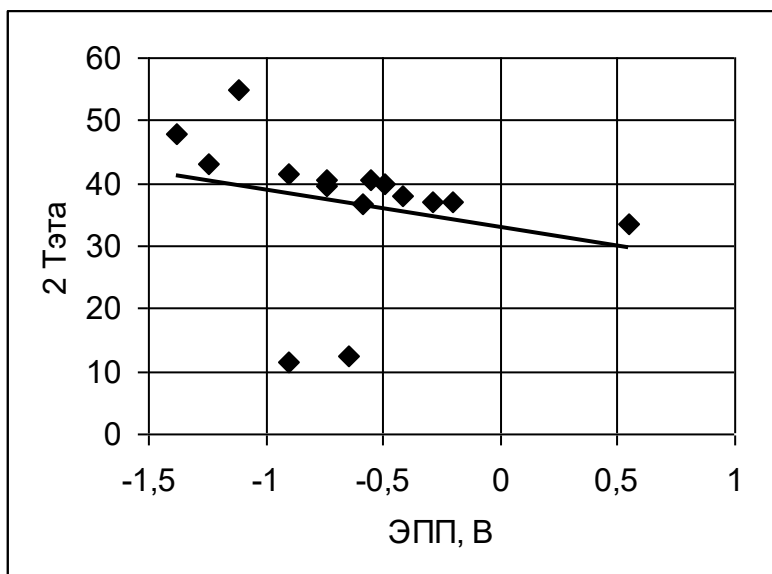


Рис. 6. Зависимость двойного угла на РГ от абсолютного ЭПП ($\psi_{\text{ЭПП}}$) вещества

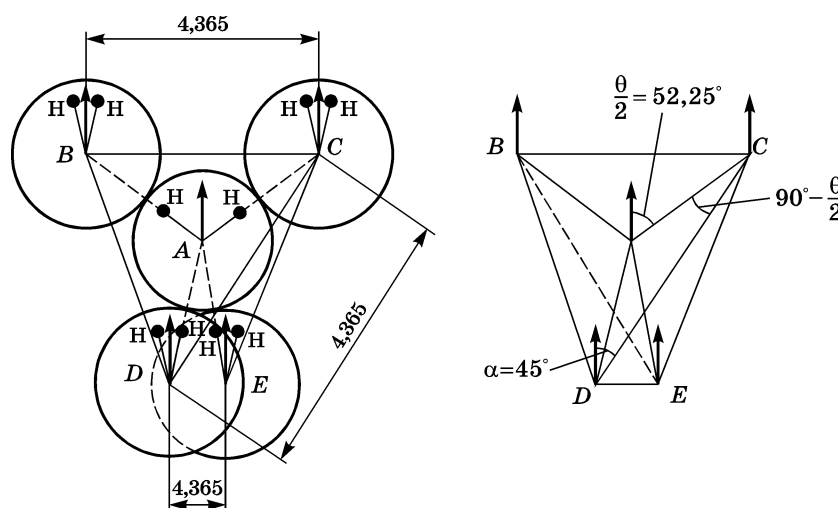


Рис. 7. Структура ассоциата воды

Подставим соответствующие данные:

$$\Delta \text{ЭПП} = \frac{0,61 \cdot 10^{-30} \cdot n_B}{1,11265 \cdot 10^{-10} \cdot 2,8^2 \cdot 10^{-20}} \left(\frac{K_l \cdot m}{m^2} = B \right) = \frac{0,61 \cdot 10^{-30}}{8,72 \cdot 10^{-30}} = 0,07 \cdot n_B (B)$$

Для этtringита:

$$\Delta \text{ЭПП}_{\mu, B} = 0,07 \cdot 31 = 2,17 (B),$$

соответственно, полный ЭПП – это сумма расчетного и дополнительного ЭПП:

$$\text{ЭПП} = \text{ЭПП}_{\text{расч}} + \Delta \text{ЭПП}_{\mu, B} \quad (4)$$

Для этtringита:

$$\text{ЭПП} = 0,9 + 2,17 = 3,07 (B)$$

Коэффициент увеличения ЭПП и его влияния на угол 2θ :

$$K_{\mu, B} = \frac{\text{ЭПП}}{\text{ЭПП}_{\text{расч}}} \quad (5)$$

$$2\theta = 2\theta_{\text{РГ}} \cdot K_{\mu, B} \quad (6)$$

где $2\theta_{\text{РГ}}$ – угол по данным рентгенограмм.

Для этtringита:

$$K_{\mu, B} = \frac{3,07}{0,9} = 3,41$$

$$2\theta = 11,4 \cdot 3,41 = 38,9^\circ$$

для ГМСАК:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

$$\Delta \text{ЭПП}_{\mu, \text{B}} = 0,07 \cdot 19 = 1,33 \text{ (В)},$$

$$\text{ЭПП} = 0,65 + 1,33 = 1,98 \text{ (В)}$$

$$K_{\mu, \text{B}} = \frac{1,98}{0,65} = 3,05$$

$$2\theta = 12,6 \cdot 3,05 = 38,43^\circ$$

Значительное отклонение в сторону больших значений двойного угла у MgO обусловлено существенно меньшим радиусом катиона Mg^{2+} (0,78 Å), по сравнению с таковым для Ca^{2+} (1 Å).

С учетом этого, величина 2θ для MgO, сопоставимая с таковой для CaO равна:

$$2\theta = 55 \cdot 0,78 = 42,9^\circ$$

ЭПП при контакте со средой изменяется за счет специфической адсорбции гидроксильных ионов OH^- или протонов H^+ . График, построенный для продуктов гидратации цемента, т.е. полученных в воде, где абсолютный ЭПП изменяет знак, с учетом коэффициентов $K_{\mu, \text{B}}$ и радиуса Mg^{2+} , представлен на рис. 8. Согласно этому графику, несколько

значений двойных углов распределились по оси средней прямой, а остальные - выше (SiO_2 , CaSO_4 , C_2S и CaO) и ниже (CSH(II) , ГМСАК и Эттрингит) этой прямой примерно на одном расстоянии от нее. Такая систематичность может быть обусловлена следующим. Указанные вещества, расположенные ниже прямой, имеют высокую основность CaO/SiO_2 : CSH(II) – 2, ГМСАК – 3 и эттрингит – 3; вещества, расположенные выше прямой, имеют низкую и даже нулевую основность: SiO_2 – 0, CaSO_4 – 1, C_2S – 2 и CaO – 0. Это приводит у высокоосновных веществ к расположению атомов кислорода ниже атомов Ca, а у низкоосновных, наоборот, выше. В результате под влиянием ЭПП вещества атомы кислорода поляризуются и создают дополнительный положительный потенциал $\Delta \text{ЭПП}$ у низкоосновных веществ и отрицательный – у высокоосновных, рис. 9.

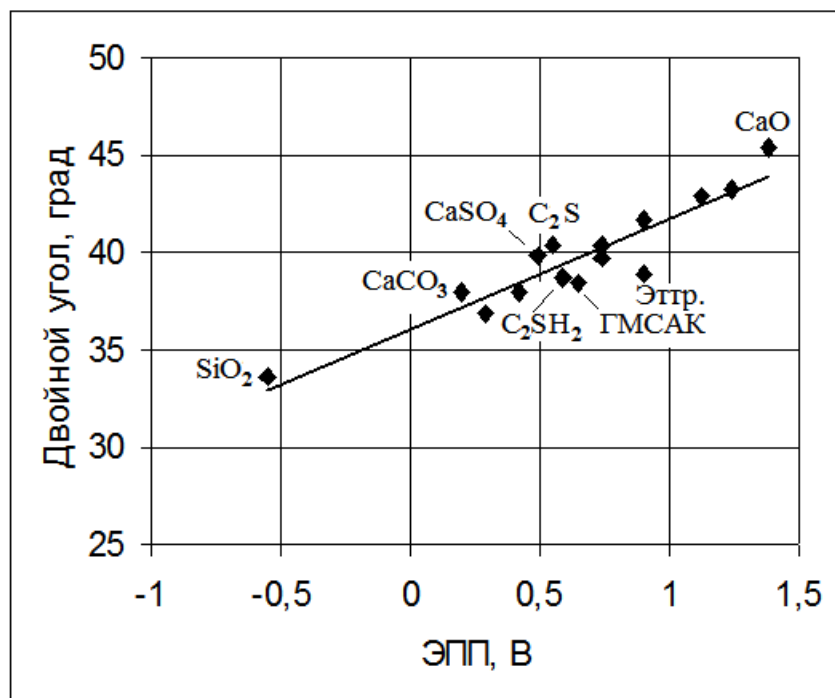


Рис. 8. Зависимость двойного угла на РГ от ЭПП вещества с учетом $K_{\mu, \text{B}}$

Коэффициент влияния поляризуемости поверхностных атомов кислорода определим следующим образом. Атом кислорода

приобретает под влиянием ЭПП вещества индуцированный дипольный момент:

$$\mu_{\text{инд}} = E \cdot \alpha \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 = E \cdot r_o^3 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0, \quad (7)$$

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

где E – напряженность электрополя от ЭПП:

$$E = \frac{\text{ЭПП}_{\text{ВЕЩ}}}{\delta_{\text{ВЕЩ}}}, \quad (8)$$

где $\delta_{\text{ВЕЩ}}$ – размер молекулы, м.

$$\mu_{\text{ИНД}} = \frac{\text{ЭПП}_{\text{ВЕЩ}} \cdot r_0^3}{\delta_{\text{ВЕЩ}}} \quad (9)$$

$$\Delta\text{ЭПП}_{\text{ПОЛ}} = \frac{\mu_{\text{ИНД}}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot \delta_{\text{ВЕЩ}}^2} \quad (10)$$

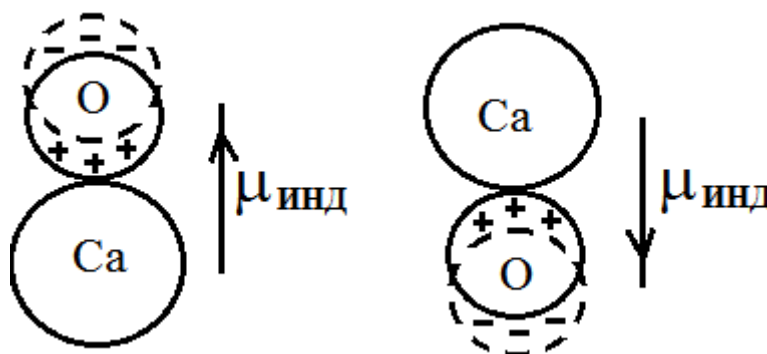


Рис. 9. Возникновение индуцированного дипольного момента для низкоосновных веществ (слева) и высокоосновных (справа)

Подставим (9) в (10):

$$\Delta\text{ЭПП}_{\text{ПОЛ}} = \frac{\text{ЭПП}_{\text{ВЕЩ}} \cdot r_0^3 \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot \delta_{\text{ВЕЩ}}^2 \cdot \delta_{\text{ВЕЩ}}} = \frac{\text{ЭПП}_{\text{ВЕЩ}} \cdot r_0^3}{\delta_{\text{ВЕЩ}}^3} \quad (11)$$

Пример определения $\Delta\text{ЭПП}$ для CaO .

$$\Delta\text{ЭПП}_{\text{ПОЛ}} = \frac{1,38 \cdot 0,6^3 \cdot 10^{-30}}{(1 + 0,6)^3 \cdot 10^{-10}} = 0,065(\text{В})$$

Подобным образом определены $\Delta\text{ЭПП}$ для остальных веществ. Коэффициент влияния $K_{\text{ПОЛ}}$ на ЭПП и двойной угол низкоосновных веществ за счет возникновения дополнительного положительного $\Delta\text{ЭПП}$ меньше 1, а высокоосновных за счет возникновения отрицательного $\Delta\text{ЭПП}$ больше 1, табл. 1.

С учетом обоих коэффициентов $K_{\text{м.в}}$ и $K_{\text{ПОЛ}}$ график зависимости двойного угла 2θ на рентгенограммах от ЭПП веществ принимает вид, рис. 10.

Выводы. Таким образом, выполненные исследования показали, что в

рентгенофазовом анализе рентгеновские лучи проходят не только между плоскостями кристаллической решетки, а и в зазоре между блоками кристаллов и кристаллогидратов. В этом случае интенсивность дифракционных максимумов будет наибольшая. Характеристической для определения вещества (фазового состава) является двойной угол 2θ , изменение этого угла определяется величиной абсолютного электроповерхностного потенциала вещества и дополнительных потенциалов от комплексного дипольного момента однонаправленных диполей молекул воды в кристаллогидратах и индуцированного дипольного момента поверхностных атомов кислорода.

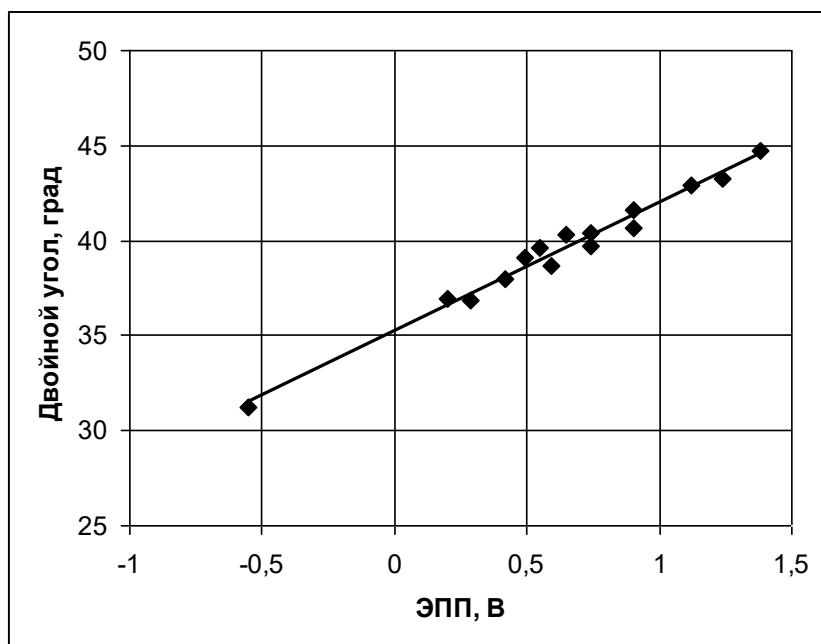


Рис. 10. Окончательная зависимость двойного угла на РГ от ЭПП вещества

Список использованных источников

1. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С.Горшков, В.В.Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.
2. Плугин А.Н. О механизме возникновения электроповерхностного потенциала различных веществ в водных растворах/ А.Н.Плугин, Н.В.Вдовенко, А.И.Бирюков, Ф.Д.Овчаренко // ДАН СССР.-1988.-Т.298.-№3.-С.656-661.
3. Плугин А.Н. Теория строения ядер атомов простых веществ, основанная на новых положениях коллоидной химии / А.Н.Плугин, А.А.Плугин // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С.5–22
4. Cowley John M. Diffraction physics / John M. Cowley / ISBN 0080530397, 9780080530390 - Elsevier, 1995 – 481 p.
5. Плугин, А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дисс... д.х.н. – 02.00.11. – Защ.14.06.89. – Киев: ИКХХВ, 1989. – 282 с.
6. Плугин А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.1. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, Л.В.Трикоз, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин; под ред.А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2011. – 331 с.
7. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.2. Теория твердения портландцемента / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин, О.В.Градобоев; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2012. – 224 с.
8. Плугин, А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: В 3-х тт. Т.3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них / А.Н.Плугин, А.А.Плугин, О.А.Калинин, С.В.Мирошниченко, Д.А.Плугин, А.С.Кагановский, Ал.А.Плугин, О.В.Градобоев, О.С.Борзяк; под ред. А.Н.Плугина. – Київ: Наукова думка, 2012. – 288 с.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

9. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня/ [Л.Г. Шпынова, В.И. Чих, М.А. Саницкий, и др.]. – Львов: Вища школа, 1961. – 157 с.
- 10 Дистлер Г.И. Декорирование поверхности твердых тел / Г.И.Дистлер, В.П.Власов, Ю.М.Герасимов – М.: Наука, 1976. – 111 с.
- 11 Плугин А.Н. Углубление представлений о физической сущности электрического заряда и абсолютного электроповерхностного потенциала / А.Н.Плугин, А.А.Плугин // Зб.наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип.130. – С.22–34
12. Губкин А.Н. Физика диэлектриков / А.Н.Губкин – М.: Высшая школа, 1971. – 272 с.

Плугин Аркадий Николаевич, д-р хим. наук, почетный профессор Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru

Плугин Андрей Аркадьевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Борзяк Ольга Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-63. E-mail: borzjaka@rambler.ru

Plugin A.N., DSc, Professor of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-63. E-mail: plugin.star@mail.ru

Plugin Andrii A., DSc, Professor, Head of Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-63. E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Borzjak O.S., PhD., Docent of Building Materials, Constructions and Structures Department, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (+38 057) 730-10-63. E-mail: borzjaka@rambler.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 624.131

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ ВІД ВИДУ ЕЛЕКТРОЛІТУ

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, інж. В.Ю. Савчук

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ОТ ВИДА ЭЛЕКТРОЛИТА

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, инж. В.Ю. Савчук

STUDYING OF SOIL COMPACTION AS A FUNCTION OF ELECTROLYTE TYPE

PhD L.V. Trykoz, eng. V.U. Savchuc

У статті розглянуто можливість застосування електролітів різного виду для ущільнення ґрунту в основах будівель і споруд. Вплив електроліту проявляється у чергуванні ступеня ущільнення в залежності від його концентрації. Це відповідає відомому чергуванню зон коагуляції та агрегативної стійкості дисперсних систем. Найбільшу ущільнюючу здатність виявили кислотні електроліти, лужні виявилися менш ефективними при невеликих концентраціях.

Ключові слова: ґрунт, ущільнення, електроліт

В статтє рассмотрена возможность использования электролитов разного вида для уплотнения ґрунта в основаниях зданий и сооружений. Влияние электролита проявляется в

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

чередовании степени уплотнения в зависимости от его концентрации. Это соответствует известному чередованию зон коагуляции и агрегативной устойчивости дисперсных систем. Наибольшую уплотняющую способность проявили кислотные электролиты, щелочные оказались менее эффективными при небольших концентрациях.

Ключевые слова: грунт, уплотнение, электролит.

The article describes the possibility of using different types of electrolytes for soil compaction in the grounds of buildings and structures. Electrolyte influences through alternation of the compaction degree in depending on its concentration. This effect corresponds to the all-known alternation of coagulation zones and aggregate stability of disperse systems. Composite materials have the biggest compaction (2.70 g/cm³) which contain sulfuric acid as a percentage of 10 % and contain hydrochloric acid as a percentage of 55 %. The lowest concentration is 10 % at which the coagulation neutralization occurs. Such a concentration of electrolytes can be used during compaction of soils under production conditions. Acid electrolytes showed the largest compaction ability, alkaline electrolytes proved less effective at low concentrations. The highest density value was obtained during using sodium hydroxide with 45% of its content. The use of calcium hydroxide resulted to a significant decrease of density and loosening of samples. The data will be the basis of technical regulations for soil compaction.

Keywords: soil, compaction, electrolyte.

Вступ.

Проектування і будівництво споруд із забезпеченням їх міцності й нормальної експлуатації – одна з складних проблем сучасного будівництва. Найважливіша операція при будівництві будь-якої споруди – ущільнення. Від якості виконання цієї операції залежить не тільки міцність, стійкість споруди, але й термін її експлуатації. Недоущільнення призводить до численних пошкоджень майбутнього об'єкту будівництва, а отже, до непродуктивних витрат людських, матеріальних і енергетичних ресурсів.

Однією з головних чинників під час укладання та ущільнення покриття є ущільнювач ґрунту. Його використовують при ущільненні базового шару з привізного або місцевого ґрунту, який попередньо стабілізують та гомогенізують органічними й мінеральними в'язучими. Завдяки цим заходам несуча здатність базового шару істотно збільшується, що веде до зменшення обсягів робіт для його улаштування. Все більш широкого застосування в сучасному будівництві набуває ущільнення ґрунту шляхом введення електроліту.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими

науковими та практичними завданнями.

Щільність – це фізична властивість ґрунту, що визначається багатьма чинниками [1]. Враховуючи, що ґрунт є складною дисперсною системою, що складається з мінеральних твердих частинок і порового простору, заповненого водою (поровою рідиною) і повітрям, поняття щільності як фізичної величини також є складним і набуває визначеність тільки в тому випадку, якщо вказується точно, про щільність яких фаз ґрунту йде мова. Способи штучного закріплення і ущільнення ґрунтів підрозділяються на способи які підвищують міцність і водонепроникність ґрунтів (цементация, силікатизация, смолизация, заморажування, випал) і способи, що підвищують тільки водонепроникність (бітумізація гаряча й холодна). Область застосування кожного способу визначається видом гірської породи та її властивостями [2]. Метод електрохімічного закріплення все частіше застосовується для ущільнення ґрунту. При цьому через аноди в ґрунт подають водні розчини електроліту, які призводять до коагуляції глинистих частинок і утворення глинистих агрегатів, сцементованих між собою [3]. Результати дослідження механізму електролітної

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

коагуляції застосовуються для глинистих ґрунтів з високою вологістю й малими зовнішніми навантаженнями; вони також необхідні для вирішення питання про застосування того чи іншого електроліту та його концентрації, а також при дослідженні механізму ущільнення ґрунту [4].

При розгляді економічних аспектів застосування композиційних матеріалів на основі ґрунтів і в'язучих слід мати на увазі й вирішення питань охорони навколишнього середовища. Відходи та побічні продукти займають великі території землі, виключаючи їх з корисного використання, викликають забруднення повітря, водою, шкідливо впливають на рослинний і тваринний світ. З цієї точки зору утилізація активного мулу станцій біологічного очищення великих міст при закріпленні ґрунтів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даний час існує багато різних нормативних документів, інструкцій, монографій, які узагальнюють теоретичні основи та описують практичні методи зміцнення ґрунтів. Проте сутність укріпленого ґрунту як будівельного матеріалу, що розглянута з позицій узагальнення й розвитку уявлень про фізико-хімічні процеси формування структур композиційних матеріалів, залишається як і раніше нерозкритою. У теперішній час є підґрунтя припустити, що змінення структури вологого ґрунту при електрохімічній обробці починається від багаточисленних центрів коагуляції, розташованих в різних місцях об'єму ґрунту; з часом агрегація розповсюджується від центрів по ґрунту в різних напрямках; частинки з'єднуються між собою, поступово утворюючи густу сітку із частинок і агрегатів [5]. Поступово така просторова сітка стає більш густою, зміцнюється внаслідок змінення сил в контактах між частинками та агрегатами, робиться більш щільною і міцною; цементуючі речовини, які утворились в ґрунті, посилюють нову структуру. Так виникає поступове

перетворення природно коагуляційно-тиксотропної будови ґрунту в більш міцну коагуляційно-кристалізаційну будову [6]. Згідно з теорією ДЛФО [7] великий вплив на процеси коагуляції мають електроліти, які залежно від концентрації викликають як коагуляцію, так і декоагуляцію системи. При взаємній коагуляції частинок щільність ґрунту буде максимальною, декоагуляція призведе до розпушування й зменшення щільності. При обробці ґрунтів сірчаною кислотою із алюмо- і феросилікатів глини утворюються сірчаноокислі солі алюмінію і заліза. Глини є сорбентами цих солей, розщеплюють їх з утворенням гідратів заліза і алюмінію, які в основному і є цементуючим матеріалом [8].

Найбільш суттєвою перешкодою, за [9], при використанні розчинів солей заліза і алюмінію для ін'єкційного закріплення карбонатних порід є рясне виділення CO_2 , яке перешкоджає нормальному ходу ін'єкції й порушує цілісність закріпленого масиву порід. Особливості газовиділення при взаємодії хлорного заліза з карбонатними породами (безперервне наростання кількості газу, що виділяється, із збільшенням концентрації розчину солі та великі абсолютні значення обсягу CO_2 при концентрації розчину вище 2,5 %) зумовлюють відмову від використання цієї солі для ін'єкційного закріплення.

Взаємодія соляної кислоти з глинами і глинистими компонентами порід протікає з розчиненням оксидів лужних і лужноземельних металів з утворенням гелеподібних продуктів, яке посилюється із зростанням вмісту HCl в робочому розчині.

Проаналізувавши попередні дослідження із залежності ущільнення ґрунту від різного виду електроліту, можна зробити висновки, що існуючі сучасні методи є недостатньо ефективними за рахунок складності визначення концентрації електроліту, розчиняючої речовини та складності протікання процесів у ґрунті. Полікомплексні композиції є високоефективним в'язучим завдяки

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

поліфункціональності поліелектролітів, а також внаслідок високого ступеня іонізації аміногруп і розгалуженості ланцюгів макромолекул катіоактивних компонентів композиції. Цим пояснюється менша витрата такого в'язучого в порівнянні з іншими відомими хімічними речовинами, які застосовуються для зміцнення ґрунтів [10]. Як поліелектроліт можна використовувати органічну складову активного мулу, який можна застосовувати для ущільнення ґрунтів з використанням неорганічних електролітів.

Метою досліджень було визначення залежності ущільнення ґрунтів з добавкою активного мулу від виду електроліту.

Основний матеріал експериментальних досліджень. Для досягнення мети було досліджено залежність ущільнення ґрунтів від добавки різного виду електроліту: гідроксиду натрію NaOH,

гідроксиду кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, соляної кислоти HCl, сірчаної кислоти H_2SO_4 , вміст яких змінювався від 0 до 50 % від маси зразка. Із суміші глини, води й активного мулу були виготовлені зразки розмірами $4 \times 4 \times 4$ см, для яких, після витримання в нормальних умовах протягом 7 днів, визначено їх щільність.

У результаті випробувань встановлено, що найбільший показник ущільнення ($2,70 \text{ г/см}^3$) має композиційний матеріал із вмістом сірчаної кислоти у відсотковому відношенні 10 %, а також із вмістом соляної кислоти у відсотковому відношенні 55 % (рис.). При використанні гідроксиду натрію найбільше значення щільності було отримано при його вмісті 45 %, а використання гідроксиду кальцію призвело до суттєвого зменшення щільності та розпушування зразків.

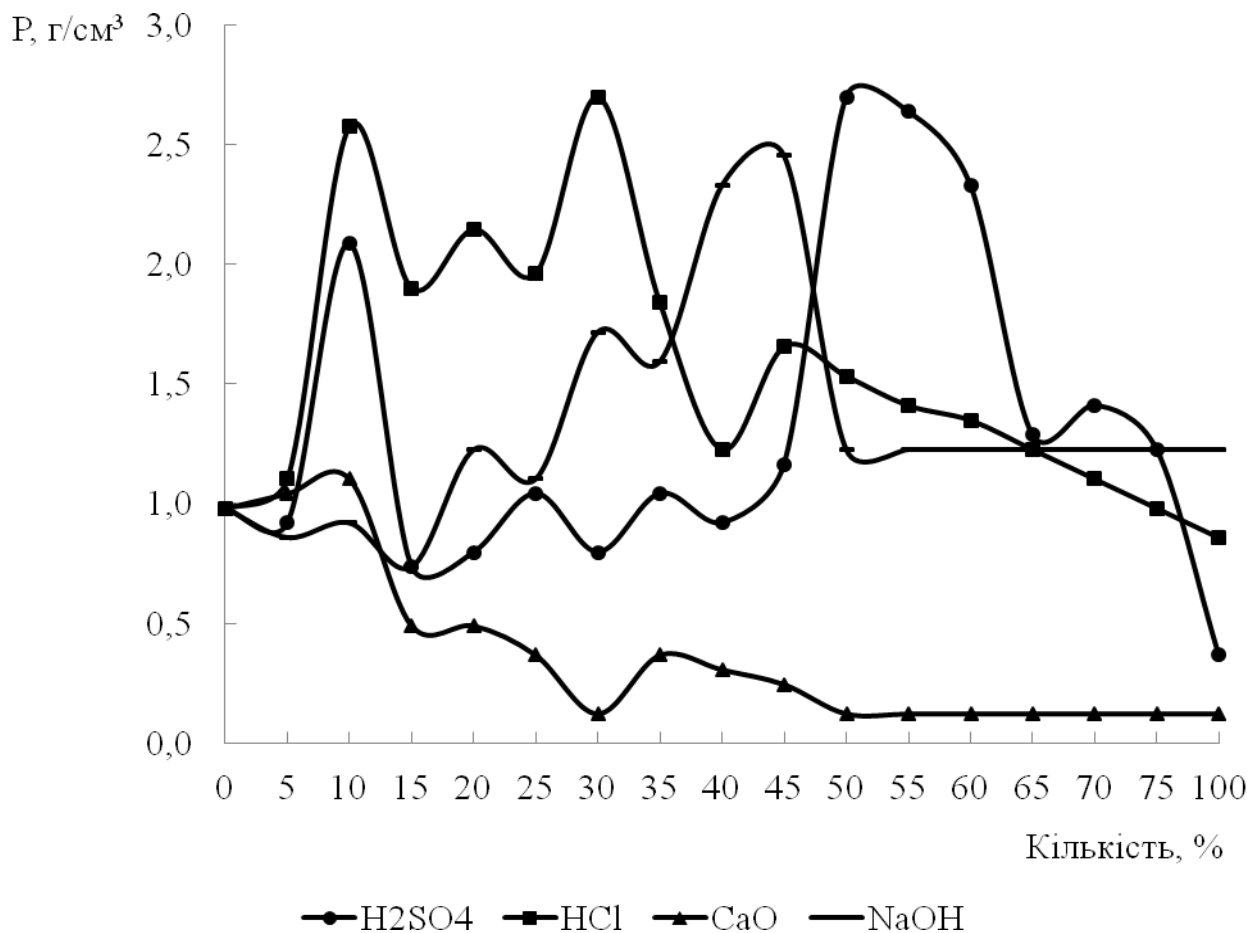


Рис. Залежність щільності зразків від кількості та виду електроліту

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Такі нелінійні залежності можна пояснити чергуванням зон коагуляції та агрегативної стійкості системи при зміні концентрації електроліту згідно з [7]. При невеликій концентрації електроліту (10 %) відбувається нейтралізаційна коагуляція, яка зумовлена адсорбцією протиіонів подвійного електричного шару частинок ґрунту в кількості, при якій відбувається нейтралізація поверхневого заряду частинки. У цих умовах зникають сили відштовхування між однойменно зарядженими частинками, й вони можуть наблизитися до відстані, на якій відбудеться їх злипання, що підвищить щільність системи в цілому. При значній концентрації електроліту (40-50 %) відбувається концентраційна коагуляція, яка зумовлена стисканням дифузного шару протиіонів подвійного електричного шару частинок ґрунту. У результаті знижується електрокінетичний потенціал, що дозволяє підійти частинкам на близьку відстань, а за рахунок міжмолекулярної взаємодії

відбудеться злипання часток і коагуляція. При цьому ступінь ущільнення знову збільшується.

Висновки з даних досліджень та перспективи подальших досліджень. У результаті проведених досліджень визначено залежність ущільнення ґрунту від виду електроліту та його оптимальну кількість. Вказана залежність має нелінійний характер, що свідчить про чергування зон коагуляції та агрегативної стійкості дисперсних систем на основі ґрунту та активного мулу. Найменше значення концентрації, при якій відбувається нейтралізаційна коагуляція, становить 10 %. Отже при ущільненні ґрунтів у виробничих умовах можна застосовувати електроліти саме такої концентрації. Найбільшу ущільнюючу здатність виявили кислотні електроліти, лужні виявилися менш ефективними при невеликих концентраціях. Отримані дані буде покладено в основу розроблюваних технологічних регламентів із ущільнення ґрунту.

Список використаних джерел

1. Караулова, А.М. Механика ґрунтов [Текст] / А.М. Караулова. – М.: Стройиздат, 2007. – 286 с.
2. Волоцкой, Д.В. Основы глубинного закрепления ґрунтов земляного полотна автомобильных дорог [Текст] / Д.В. Волоцкой. – М.: Транспорт, 1978. – 119 с.
3. Ржаницын, Б.А. Пособие по химическому закреплению ґрунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве [Текст] / Б.А. Ржаницын, Л.И. Курденков. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.
4. Жинкин, Г. Н. Электрохимическое закрепление ґрунтов в строительстве [Текст]: научное издание / Г. Н. Жинкин. – М., Л.: Стройиздат, 1966. – 195 с.
5. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Наука. 1966. – 204 с.
6. Ребиндер П.А. Проблемы образования дисперсных систем и структур в этих системах: физико-химическая механика дисперсных структур и твердых тел [Текст] / П.А. Ребиндер. – В. кн.: Современные проблемы физической химии. – Т.3. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – 302 с.
7. Зимон, А.Д. Колоидная химия [Текст] / А.Л. Зимон, Н.Ф. Лещенко –М.: "Агар", 2001. – 318 с.
8. Будников, Е.П. Применение белковых стабилизаторов в строительстве из ґрунтов [Текст] / Е.П. Будников, А.А. Пеганов, В.В. Чернов // Сообщения института строительной техники Академии архитектуры СССР. – Вып.14. – М., 1944. – 24 с.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

9. Воронкевич, С.Д. Особенности тампонажного закрепления грунтов солями железа и алюминия [Текст] / С.Д. Воронкевич, Л. А. Евдокимова // Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тез. докл. на VII Всесоюзн. научно-техн. совещ. – М.: Стройиздат, 1971. – С. 177-179.

10. Ткачев, В. А. Поликомплексная композиция для укрепления грунтов [Текст] / В. А. Ткачев, С. В. Аксенов / Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве: тез. докл. на IX Всесоюзн. научно-техн. совещ. – М.: Стройиздат, 1978. – С. 218-221.

Рецензент д-р техн. наук, професор Плугін А.А.

Трикоз Людмила Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Савчук Валентина Юрївна, здобувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-63. E-mail: lov-75@mail.ru

Trykoz Liudmyla, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Savchuc Valentyna, aspirant Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-63. E-mail: lov-75@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 631.432.2.442.3:624.136.2

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕНОГО СУГЛИНКУ ДОРОЖНЬОГО НАСИПУ

Д-р техн. наук Ю.Л. Винников, асп. Т.В. Литвиненко

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА УПЛОТНЕННОГО СУГЛИНКА ДОРОЖНОЙ НАСЫПИ

Д-р техн. наук Ю.Л. Винников, асп. Т.В. Литвиненко

LABORATORY STUDIES OF COMPACTED LOAM EMBANKMENT MOISTURE CONDITIONS

Dsc Yu.L. Vynnykov, Postgraduate student T.V. Lytvynenko

Розроблено й реалізовано методику фізичного моделювання міграції води за товщиною дорожнього насипу шляхом досліджень змін у часі вологості суглинка важкого пілуватого, вміщеного в пластмасові труби висотою 1,5 м й ущільненого за коефіцієнта водонасичення $S_r = 0,85$ до щільності скелета ґрунту $\rho_d = 1,50 - 1,65$ г/см³. Отримано нові дослідні дані вологості ущільненого суглинка за висотою труби через два місяці «відпочинку» для кожної величини щільності скелета ґрунту.

Ключові слова: дорожній насип, укочування, міграція води, деформація, вологість, суглинок, максимальна молекулярна вологомісткість ґрунту, щільність скелета ґрунту.

Разработана и реализована методика физического моделирования миграции воды за толщиной дорожной насыпи путем исследования изменений во времени влажности суглинка

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

тяжелого пылеватого, помещенного в пластмассовые трубы высотой 1,5 м и уплотненного за коэффициента водонасыщения $S_r = 0,85$ к плотности скелета грунта $\rho_d = 1,50 - 1,65$ г/см³. Получены новые исследовательские данные влажности уплотненного суглинка за высотой трубы через два месяца «отдыха» для каждой величины плотности скелета грунта.

Ключевые слова: дорожная насыпь, укатка, миграция воды, деформация, влажность, суглинок, максимальная молекулярная влагоемкость грунта, плотность скелета грунта.

On the condition of compacted road embankment soil over time significantly affects moisture at which it compacted, and the proportion of certain types of pore water in soil. Moisture decreasing at which the soil was compacted within the embankment in practice causes to his additional settlement. Physical water migration modeling for thickness of road embankment over time research changes of silty clay loam moisture, placed in plastic tubes height of 1,5 m and compacted by water saturation factor $S_r = 0,85$ to soil skeleton density $\rho_d = 1,50 - 1,65$ g/cm³ is done. The value of final compacted loam moisture within experimental interval decreases with increasing of the soil skeleton density. The values of stabilized compacted moisture loam for the height of tube in two months «rest» for each soil skeleton density value, approaching maximum molecular moisture capacity of this soil are determined.

Keywords: road embankment, rolling, water migration, deformation, moisture, loam, maximum molecular moisture capacity, soil skeleton density.

Введение.

Для длительной эксплуатации дорожной насыпи важны не только максимально достигнуты при послойной укатке значения плотности скелета грунта и его прочности, но и сохранение их в течение нормативного времени эксплуатации [1, 2]. На состояние уплотненного грунта насыпи во времени существенно влияет влажность, при которой его уплотняли, и количественное соотношение отдельных видов поровой воды в грунте. Поэтому актуальной задачей возведения грунтовых сооружений является обеспечение их длительной прочности, то есть, когда в течение нормативного времени эксплуатации сохраняются полученные после уплотнения величины механических параметров грунта, а сверхнормативные деформации сооружений не возникают [3, 4].

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Ранее авторы [5] установили, что если грунт уплотняли при влажности меньше максимального количества связанной воды,

то электрический потенциал поверхности твердых частиц не использован, и они способны увеличить толщину пленок связанной воды до максимально возможного значения при дополнительном увлажнении грунта во время эксплуатации грунтового массива. Увеличение толщины пленок связанной воды приводит к увеличению первоначального объема уплотненного грунта и деформации массива. Если уплотнение грунта выполнено при влажности, что значительно превышает максимальное количество связанной воды, то электрический потенциал поверхности твердых частиц полностью использован, система имеет нейтральный заряд, а толщина пленок связанной воды – максимальную величину. Наличие значительного количества свободной воды приводит к тому, что со временем эта вода под действием гравитации, собственного веса грунта и внешних нагрузок выжимается из пор. Это способствует дополнительному уплотнению грунта за счет более компактного размещения твердых частиц. Соответственно, прочность грунта

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

возрастает, и имеют место неравномерные деформации. Таким образом, наиболее благоприятным условием обеспечения длительной прочности грунтов дорожной насыпи и минимальных деформаций при ее эксплуатации является уплотнение грунта при влажности близкой к максимальному содержанию связанной воды.

Анализ последних исследований и публикаций.

А.Ф. Лебедев [6] считал, что исследователи точно не установили даже виды грунтов по влагоемкости, не говоря уже об их точной физической классификации. П. Коссович выделил виды влагоемкости: наибольшую; относительную; наименьшую – указывая, что это разделение «не соответствует общепринятым в грутоведении понятиям о малейшей и наибольшей (по А. Майером) влагоемкости». К.Д. Глинка тоже выделил три вида влагоемкости: наименьшую; относительную; наибольшую – причем наименьшая влагоемкость – это «количество воды, которую аккумулирует грунт тогда, когда вода находится в нем в пленочном состоянии».

Однако, такое определение лишено точного физического смысла, как и само понятие «пленочная» вода. Целесообразно установить различные виды влагоемкости в связи с изменениями свойств грунтовой влаги, что относится к тому или иному виду влагоемкости, как гигроскопичная влагоемкость, максимальная молекулярная влагоемкость и т. д.

Так как двойная максимальная гигроскопичность лежит в пределах между максимальной гигроскопичностью и максимальной молекулярной влагоемкостью, то есть, где не происходят качественные изменения в состоянии грунтовой влаги, то вероятно, что физиологически полезная влажность должна совпадать с максимальной гигроскопичностью, где грунтовая влажность резко меняет физические свойства. Указанное соображение подтверждено данными Г.

Митчерлиха, который доказал, что растения умирают от отсутствия воды только тогда, когда в грунте остается только гигроскопическая влага. Другую картину мы имеем в случае, когда механические элементы касательных слоев имеют разнородный характер [7, 8].

Определение целей и задачи исследования.

Авторами методом однофакторного планирования проведено физическое моделирование, имевшее за цель разработку новых оптимальных критериев уплотнения, при которых обеспечивается длительная прочность глинистых грунтов дорожной насыпи. В частности, исследовалась возможная миграция воды по толщине этой насыпи во времени (в течение двух месяцев) в уплотненном глинистом грунте, помещенном в пластмассовые трубы высотой 1,5 м (то есть, имитировался послойно уплотненный грунт дорожной насыпи).

Основная часть исследования.

При подготовке определено естественную влажность исследуемого грунта, его влажность на границе текучести и раскатывания. Грунт – суглинок тяжелый пылеватый, твердый со следующими индикационными показателями: начальная влажность $w_0 = 0,115$; влажность на границе текучести $w_L = 0,354$; влажность на границе раскатывания $w_p = 0,192$; число пластичности $I_p = 0,162$. Плотность скелета грунта принимали за переменный фактор, а начальное значение коэффициента водонасыщения грунта во всех опытах довели до $S_r = 0,85$. Соответственно влажность грунта в каждом опыте имела переменное значение, а именно при: плотности скелета грунта $1,50 \text{ г/см}^3 - 0,250$; $1,55 \text{ г/см}^3 - 0,231$; $1,60 \text{ г/см}^3 - 0,214$; $1,65 \text{ г/см}^3 - 0,198$. Для реализации работы использованы: весы; пульверизатор ручной; 40 звеньев пластмассовых труб размером 50

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

мм (наружный диаметр) × 150 мм (длина каждого звена); металлическая стойка; лоток для дренажа; ручная трамбовка; шпатель (рис. 1). Внутренний диаметр труб составил 46,4 мм. Его принимали в расчетах исходной массы грунта для заполнения определенного объема труб. Заполнение грунтом труб осуществляли последовательно на высоту по 3 см. Задаваясь плотностью скелета грунта и его влажностью, рассчитывали (табл. 1) для соответствующего объема массу грунта естественной влажности ($w_0 = 0,115$) и массу воды, которую следует к ней добавить, чтобы получить заданную влажность, при которой коэффициент водонасыщения

грунта составлял $S_r = 0,85$. По данным табл. 1 отобраны и взвешены для четырех вариантов соответствующие массы грунта. Его равномерно увлажняли до заданной влажности, для чего грунт перемешивали шпателем. Затем порциями его подавали в трубы и равномерно уплотняли трамбовкой с соответствующими отметками за ее высотой (рис. 1) каждый раз до толщины 30 мм, после чего звенья трубы (по 150 мм) соединяли в общей высоте 1,5 м (рис. 2). Эти трубы с послойно уплотненным суглинком устанавливали на металлическую стойку (рис. 2).

Таблица 1

Исходные данные для проведения эксперимента по определению максимальной молекулярной влагоемкости уплотненного глинистого грунта

Заданная плотность скелета грунта, ρ_d , г/см ³	Соответствующий коэффициент пористости грунта, e	Заданная влажность грунта w (при $S_r = 0,85$)	Масса порции сухого грунта, г	Масса порции грунта при $w_0 = 0,115$	Масса порции грунта при заданной влажности w	Масса порции воды, которая добавляется к порции грунта
1,50	0,786	0,250	76,10	84,85	95,12	10,27
1,55	0,729	0,231	78,63	87,67	96,80	9,12
1,60	0,675	0,214	81,17	90,50	98,54	8,04
1,65	0,624	0,198	83,71	93,33	100,28	6,95

Нижние концы всех труб заводили в дренажный лоток, заполненный гранотсевом. Таким образом, свободная (несвязная) вода имела возможность миграции по всей высоте грунта в трубе, что имитировало ее миграцию в пределах толщины дорожной насыпи. Сверху все пластмассовые трубы с послойно уплотненным глинистым грунтом герметично закрывали для предотвращения испарения воды «вверх». После этого трубы с послойно уплотненным тяжелым суглинком оставляли на металлической стойке в покое, на, так называемый, «отдых».

Через два месяца «отдыха» все трубы разбирали на отдельные звенья. С каждого

звена отбирали не менее двух образцов почвы в бюксы, по которым нормативным методом весовой влажности определяли конечную (стабилизированную) влажность уплотненного глинистого грунта по всей высоте трубы.

Пример результатов определения средних величин конечной влажности уплотненного глинистого грунта w_k по всей высоте трубы для значения плотности скелета грунта $\rho_d = 1,50$ г/см³ представлен в виде графика (рис. 3). Графики зависимости влажности грунта w , при которой суглинок уплотняли и средней конечной влажности грунта w_k уплотненного суглинка от ρ_d в

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

пределах высоты трубы за исключением ее верхнего и нижнего звеньев представлены на рис. 4.



Рис. 1 Ручная трамбовка для уплотнения грунта



Рис. 2 Трубы, заполненные уплотненным грунтом с обозначением данных сверху по исходной плотности скелета грунта ρ_d и его заданной влажности w

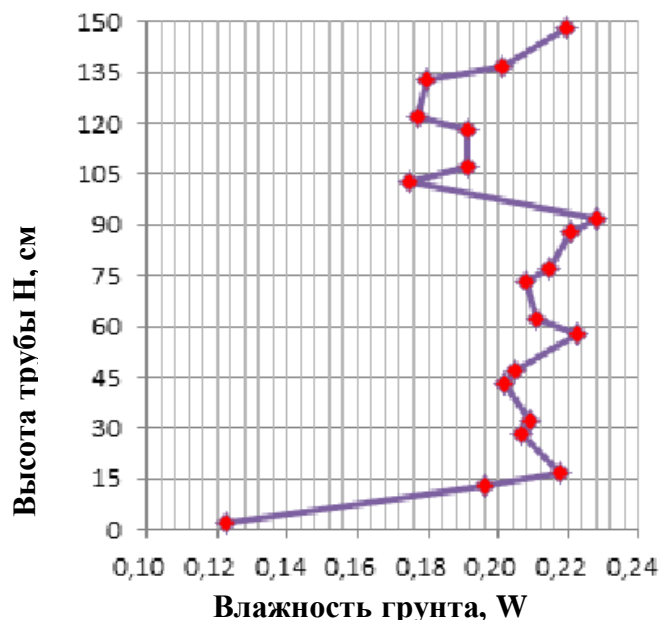


Рис. 3 График изменения влажности уплотненного тяжелого пылеватого суглинка от глубины трубы при плотности скелета грунта $\rho_d = 1,50 \text{ г/см}^3$ после 62 суток выдержки

Сравнивая значение средней конечной влажности уплотненного суглинка w_k по высоте трубы через два месяца «отдыха» с

величинами начальной влажности w этого же грунта, в частности, видно, что:

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

- миграция воды обусловлена силами гравитации и капиллярного поднятия влаги (последняя связана с силами ее поверхностного натяжения);

- значение средней конечной влажности w_k уплотненного суглинка по сравнению с влажностью, при которой грунт уплотняли, снизилось для всех величин плотности скелета грунта ρ_d (рис. 4) почти на всю высоту трубы за исключением ее верхнего звена, для которой влажность грунта приблизилась к значению (которое соответствует коэффициенту водонасыщения $S_r \approx 1,0$) за счет капиллярного поднятия влаги; влажность грунта в нижнем звене труб уменьшилась до $w = 0,10 - 0,12$ в результате испарения свободной воды;

- значение конечной влажности уплотненного суглинка в пределах исследуемого интервала $\rho_d = 1,50 - 1,65$ г/см³ уменьшается с повышением плотности скелета грунта (рис. 4), что связано с тем, что с увеличением ρ_d коэффициент фильтрации грунта снижается, что приводит к снижению скорости перераспределения влажности;

- конечная влажность грунта приближается к его, так называемой, максимальной молекулярной влагоемкости (по В.И. Бируля [9] $w_{mm} \approx 0,17$);

- снижение влажности, при которой грунт уплотняли, в пределах дорожной насыпи на практике приводит к ее дополнительным осадкам.

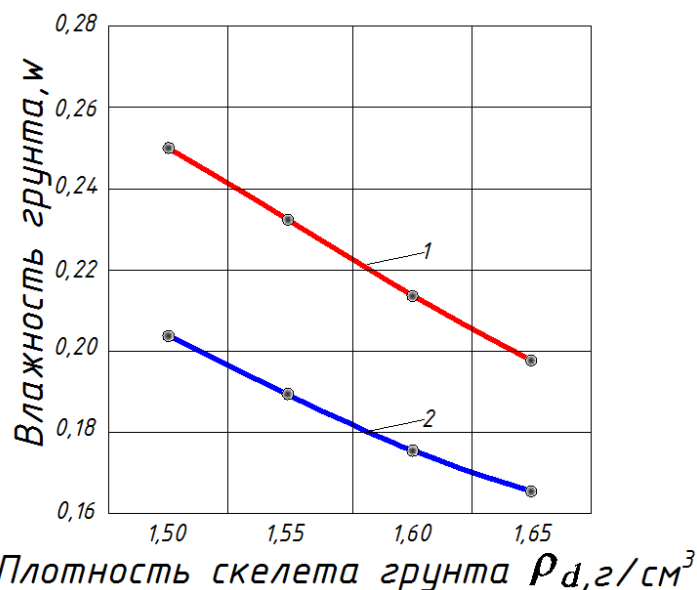


Рис. 4 Графики зависимости влажности грунта w , при которой суглинок уплотняли (1), и средней конечной влажности грунта w_k (2) уплотненного суглинка от плотности скелета грунта ρ_d в пределах высоты трубы за исключением ее верхнего и нижнего звеньев

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.

Моделированием возможной миграции воды за толщиной насыпи путем исследований изменений во времени на протяжении двух месяцев влажности суглинка тяжелого пылеватого,

уплотненного за коэффициента водонасыщения $S_r = 0,85$ к плотности скелета грунта $\rho_d = 1,50 - 1,65$ г/см³ и помещенного в трубы высотой 1,5 м, доказано, что стабилизированная величина его влажности приближается к

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

максимальної молекулярної вмісткості цього ґрунта.

Список использованных источников

1. Р В.2.3–218–02070915–757:2009. Рекомендації з підвищення стійкості високих насипів автомобільних доріг. – К.: Укравтодор, 2009. – 30 с.
2. ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Зміна №1. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – К.: Мінреґіонбуд, 2011. – 19 с.
3. Кузахметова, Э.К. Методология оценки состояния земляного полотна при реконструкции и ремонте автомобильных дорог в сложных природных условиях. Монография / Э.К. Кузахметова. – Балашиха: ВТУ Спецстроя России, 2010. – 160 с.
4. Инженерная геология. Механика грунтов, основы та фундаменти / М.Л. Зоценко та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 568 с.
5. Винников, Ю.Л. Нові критерії оптимального ущільнення ґрунтів дорожнього насипу за умови забезпечення їх тривалої міцності / Ю.Л. Винников, Т.В. Литвіненко // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2014. – Вип. 1 (11). – С. 424 – 432.
6. Лебедев, А.Ф. Почвенные и ґрунтовые воды / А.Ф. Лебедев. – М.: Сельхозгиз, 1930. – 280 с.
7. Казарновский, В.Д. Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог / В.Д. Казарновский и др. – М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2002. – 33 с.
8. Tateyama K. Introduction of Concurrent Engineering to Embankment Construction / K. Tateyama // The Japanese Geotechnical J., 2006. – Vol. 54, No. 9. – P. 30 – 32.
9. Бируля, В.И. Лабораторные работы по ґрунтоведению и механике ґрунтов / В.И. Бируля. – Харьков: ХГУ, 1956. – 124 с.

Винников Юрий Леонидович, докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры геотехники Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (067)256-42-86. E-mail: vyunnykov@yandex.ru

Литвіненко Татьяна Васильевна, аспирант кафедры автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Тел.: (095) 0785373. E-mail: tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru

Vynnykov Yuriy Leonidovych, Doctor of Engineering Science, professor, professor of Geotechnics Department, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel.: (067) 256-42-86. E-mail: vyunnykov@yandex.ru.

Litvinenko Tatyana Vasilievna, postgraduate student of Automobile roads, Geodesy, Land management and Rural buildings Department, Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University. Tel.: (095)0785373. E-mail: tatiana.jasmine.litvinenko@mail.ru

Стаття прийнята 21.04.2015 р

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

УДК 624.138.22

ОЦІНКА БЕЗВІДМОВНОСТІ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ

Д-р техн. наук С.Ф. Пічугін, канд. техн. наук О.Є. Зима, асп. П.Ю. Винников

ОЦЕНКА БЕЗОТКАЗНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Д-р техн. наук С.Ф. Пичугин, канд. техн. наук Зима А.Е., асп. Ф.Ю. Винников

THE MAIN PIPELINES LINEAR PART RELIABILITY ESTIMATION

Doct. of techn. sciences S. Pichugin, Ph. D. O. Zyma, Postgraduate P. Vynnykov

Проведено порівняння розрахунку товщини стінки ділянки лінійної частини магістрального трубопроводу за нормами різних країн. Приведено особливості розрахунку за методом граничних станів. Отримано статистичні характеристики внутрішнього робочого тиску у трубопроводі. Виведено функцію надійності лінійної частини підземного магістрального трубопроводу у техніці випадкових величин. Визначено оцінки надійності лінійної частини підземного магістрального трубопроводу за параметром кільцевих напружень.

Ключові слова: випадкова величина, робочий тиск, кільцеві та поздовжні напруження, безвідмовність, лінійна частина трубопроводу.

Проведено сравнение расчета толщины стенки участка линейной части магистрального трубопровода по нормам разных стран. Приведены особенности расчета согласно методике предельных состояний. Определены статистические характеристики внутреннего рабочего давления в трубопроводе. Получена функция надежности линейной части подземного магистрального трубопровода в технике случайных величин. Определены оценки надежности линейной части подземного магистрального трубопровода по параметру кольцевых напряжений.

Ключевые слова: случайная величина, рабочее давление, кольцевые и продольные напряжения, безотказность, линейная часть трубопровода.

Comparison of the pipeline linear part wall thickness calculation by the requirements of the different countries is conducted. Calculation features by the ultimate states and allowable stresses method are shown. Distribution law and statistical characteristics of the external pressure is obtained. Reliability methodic of the buried main pipelines linear part is developed. For the first time main pipelines linear part reliability values are calculated by the parameter of the circular stresses.

Keywords: keywords: random variables, operating pressure, radial and longitudinal stresses, reliability, pipelines linear part.

Вступ.
Лінійна частина є найбільш металоемною, а отже найдорожчою ланкою будівництва системи магістральних трубопроводів. Оскільки діаметр трубопроводу та внутрішній тиск пов'язані між собою технологічними параметрами [1 – 3], отже, найбільш суттєвим важелем регулювання міцності, стійкості, надійності і економічності зведення трубопроводу є

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

товщина стінки лінійної частини магістрального трубопроводу (ЛЧМТ). В Україні показники надійності будівельних конструкцій, у тому числі трубопроводів, встановлюються у ДБН [4]. Згідно з ним ЛЧМТ відноситься до найвищого класу наслідків (відповідальності) – СС3 (припинення функціонування об'єктів транспорту загальнодержавного рівня). При цьому гранично допустима імовірність відмови має складати $1 \cdot 10^{-6}$ [4].

З позицій надійності окремої уваги заслуговують внутрішні норми ОАО «Газпром» [5]. Найбільший здобуток даного документу чітка диференціація системи магістральних трубопроводів на структурні частини та елементи, формування простору граничних станів ЛЧМТ, а також формування загальних моделей, придатних для оцінки надійності ЛЧМТ, хоча конкретних методик визначення рівня надійності у вказаних нормах не наведено.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з практичними задачами.

На даний момент існує два методи визначення геометричних характеристик несучих конструкцій: допустимих напружень та граничних станів. Перший широко використовується у закордонних нормах проектування, зокрема ASME, DIN, British standards та ін. [2, 6 – 8], він базується на понятті допустимого напруження (σ) як максимально безпечного для даного елемента. Критерієм відношення допустимого напруження до небезпечного (критичного) є коефіцієнт запасу міцності (КЗМ), який представляє собою відношення цих напружень. Значення КЗМ залежить від стану матеріалу, характеру діючого навантаження, характеру небезпечного напруження, межі текучості σ_y , межі міцності σ_u , його значення може коливатися у межах $K [1,4 - 1,6 \dots 2,4 - 2,6]$ [2, 8].

Вітчизняні норми проектування магістральних трубопроводів базуються на прогресивному методі граничних станів [2, 9], в основі якого лежить імовірнісний підхід до описання навантажень та впливів, а також характеристик міцності матеріалів конструкцій. Метод передбачає оцінку декількох граничних станів (міцність, стійкість, деформативність), які регламентують роботу конструкції. Тут використовується замість одного коефіцієнта запасу міцності диференційована система коефіцієнтів, кожний з яких відповідає за стохастичність окремої групи факторів [2, 9].

Узагальнене порівняння норм різних країн є достатньо важкою задачею, враховуючи, фундаментальну відмінність підходів до розрахунку, різні критерії

міцності (межа текучості σ_y , межа міцності σ_u), характеристики матеріалів конструкцій різних країн [2, 6 – 8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Визначення товщини стінки трубопроводу, перевірка за критеріями кільцевих σ_{kc} та поздовжніх осьових $\sigma_{поздN}$ та фібрових $\sigma_{позд.фібр.}$ напружень проводиться з умови не перевищення останніх тимчасового опору розтягу матеріалу труб R_1 . Між тим коефіцієнти надійності фактично забезпечують рівень напружень, що не перевищує межу текучості матеріалу R_2 [2, 10].

$$R_1 = \frac{R_1^H m}{k_1 k_H}; \quad R_2 = \frac{R_2^H m}{k_2 k_H}, \quad (1)$$

де R_1^H та R_2^H – нормативні значення опорів розтягу приймаються рівними мінімальним значенням тимчасового опору та межі текучості відповідно;

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

m – коефіцієнт умов роботи трубопроводу;

k_1, k_2 – коефіцієнт надійності за матеріалом;

k_n – коефіцієнт надійності за призначенням трубопроводу.

Крім того, визначення розрахункових опорів на розтяг металу труб R_1 та R_2 у чинних нормах є недостатньо обґрунтованим з точки зору підходу теорії надійності, оскільки коефіцієнти у формулах (1) варіюють розрахунковий опір металу труб у межах від 70% до 35% від нормативного [11 – 15]. Таке значне зниження розрахункового опору має бути статистично обґрунтованим і потребує перегляду відповідно до сучасних технологій та існуючих методик розрахунку [9, 14].

Через відсутність диференціації коефіцієнту запасу міцності у закордонних стандартах, його значення мають ще більш необґрунтований характер, таким чином він більше схожий на «коефіцієнт незнання» [2, 9].

Визначення мети та задач дослідження.

Тому, за мету роботи прийнято оцінити безвідмовність ділянки лінійної частини підземного магістрального нафтопроводу за критерієм кільцевих напружень. Для цього ставляться задачі: розрахунку товщини стінки ділянки трубопроводу за методами допустимих напружень (за міжнародними нормами) та граничних станів згідно методики СНіП, та обґрунтування імовірнісної моделі внутрішнього робочого тиску у трубопроводі.

Основний матеріал дослідження.

Товщина стінки згідно СНіП 2.05.06-85 визначається на основі методу граничних станів [10]:

$$t_n = \frac{npD}{2(R_1 + np)}, \quad (2)$$

де n – коефіцієнт надійності за навантаженням – внутрішньому робочому тиску у трубі [10];

P – робочий (нормативний) тиск у трубі.

Отримана товщина стінки заокруглюється у більшу сторону з точністю 0,1 мм. Оскільки вона вже враховує мінусовий допуск, то може використовуватися як номінальна при замовленні великої партії труб. Якщо використовують труби з сортаменту, товщина стінки заокруглюється до ближчого більшого значення.

ASME B31.4; CSA-Z183 (нафтопроводи) [6, 8].

$$t_n = \frac{P_d D}{2S}; \quad (3)$$

$$S = FE_{зв.шва} \sigma_y, \quad (4)$$

де P_d – максимально допустимий робочий тиск (МДРТ). Вітчизняним аналогом МДРТ є добуток нормативного тиску на коефіцієнт надійності за навантаженням $P_d = np \cdot t_n$ – номінальна товщина стінки;

D – зовнішній діаметр труби;

S – допустиме напруження;

σ_y – нормативна межа текучості;

$E_{зв.шва}$ – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай рівний 1,00;

F – розрахунковий коефіцієнт, який залежить від класу розташування ділянки.

ISO 13623 [7].

$$t_n = \left(1 - \frac{\Delta^*}{100}\right)^{-1} \frac{P_d D}{2F\sigma_y + P_d}, \quad (5)$$

де Δ^* – відносний заводський допуск на товщину стінки (%);

F – розрахунковий коефіцієнт для кільцевих напружень. Він може приймати значення 0,77 та 0,67, крім того, можливе

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

зменшення значень коефіцієнта (0,55 та 0,45) залежно від класу розташування.

British Standard BS 8010: Part 2 [2]. За нормами Великобританії [2, 8] товщина стінки визначається аналогічно методиці ASME, однак не враховує температурний коефіцієнт. Крім того, безпосередньо у розрахунку необхідно враховувати заводський допуск на товщину стінки.

$$t_n = \left(1 - \frac{\Delta^*}{100}\right)^{-1} \frac{P_d D}{2FE\sigma_y} \quad (6)$$

Розрахунковий коефіцієнт F може приймати значення 0,72 та 0,6.

- **Норми Німеччини DIN 2470, Teil 2; DIN 2413** [2]. Формально номінальна товщина стінки має враховувати допуски на корозію та знос, але для ЛЧМТ цей допуск приймається рівним нулю.

$$t_n = \left(1 - \frac{\Delta^*}{100}\right)^{-1} \frac{P_d D}{2E[\sigma]} \quad (7)$$

де E – коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва, зазвичай рівний 1,00;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, яке згідно [2, 8] визначається діленням нормативної межі текучості σ_y на коефіцієнт запасу K_y .

Значення коефіцієнта запасу K_y залежить від видовження зразка при розриві δ_5 та призначення трубопроводу, та коливається у межах 1,4 – 1,7 [2].

Пряме порівняння розрахунку ділянки ЛЧМТ за різними нормами неможливе, у даному порівнянні приймемо умовну відповідність для різних норм проектування (табл. 1) [2]. Усі розрахунки та порівняння товщин стінок виконані для ділянки магістрального нафтопроводу розташованого на території України [11, 12] МДРТ $P_d = 5,5 \text{ МПа}$, що відповідає робочому тиску за вітчизняними нормами $p = 5 \text{ МПа}$. Трубопровід діаметром 1020 мм (I

категорія), зовнішні впливи, пов'язані з вагою ґрунту засипки та нерівномірним осіданням основи – відсутні [14, 15].

Коефіцієнти надійності за СНіП $k_1 = 1,4$, $k_n = 1,00$ [10].

Матеріал трубопроводу сталь марки 17Г1С-Т, що аналогічно сталі класу X70 за API 5L. Нормативна межа міцності $\sigma_u = 589 \text{ МПа}$, нормативна межа текучості $\sigma_y = 482 \text{ МПа}$. Для отримання фактичних товщин стінок за іноземними нормами до розрахованих мінімальних товщин додається заводський допуск, який за стандартом API 5L складає 10% [2].

З аналізу табл. 2 видно, що найтонша, а отже найбільш економічна товщина стінки, для усіх класів безпеки, отримана саме за методикою СНіП 2.05.06-85 [10], крім того, спостерігається найбільша мінливість товщини стінки. Товщини стінки, розраховані за іноземними нормами мають достатньо близькі між собою значення, але найбільший запас міцності магістрального трубопроводу забезпечується його розрахунком за Британськими нормами BS 8010.

Під час капітального ремонту ділянки трубопроводу було використано труби з товщиною стінки $t_n = 9 \text{ мм}$, що відповідає «середньому класу» безпеки та відповідає I – II класу відповідальності згідно класифікації СНіП [10].

Зважаючи на відносно маленьку товщину стінки трубопроводу, розраховану за вітчизняними нормами та прийняту у проекті, на відміну від аналогічних розрахунків за іноземними документами, на перший погляд здається, що надійність трубопроводу недостатня. Тому, доцільно оцінити надійність ЛЧМТ за параметром не перевищення кільцевими напруженнями межі міцності матеріалу труб. Однією з переваг розрахунку будівельних конструкцій за методом граничних станів є прямий перехід до методів теорії надійності,

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

оскільки навантаження та характеристики використанням теорії імовірності. міцності матеріалів визначаються з

Таблиця 1

Порівняння значень розрахункових коефіцієнтів для ділянок трубопроводів за різними нормами

Умовний клас безпеки	СНІП 2.05.06-85: коефіцієнт умов роботи: m	ASME B31.8: розрахунковий коефіцієнт F :	ISO 13623: розрахунковий коефіцієнт F :	BS 8010: Part 2. розрахунковий коефіцієнт F :	DIN 2470, Teil 2; DIN 2413: коеф. запасу K_y
Нормальний	III-IV $m=0,90$	1 $F=0,72$	Головна траса $F=0,77$	Головна траса $F=0,72$	$K_y = 1,5$
Середній	I-II $m=0,75$	2 $F=0,60$	Відповідальні ділянки $F=0,67$	Відповідальні ділянки $F=0,60$	$K_y = 1,6$
Високий	V $m=0,60$	3 $F=0,50$	Клас розташування 4 $F=0,55$	-	$K_y = 1,7$

Таблиця 2

Розраховані товщини стінок ділянки ЛЧМТ за різними нормами

Зовнішній діаметр	Клас безпеки	Товщина стінки трубопроводу	СНІП 2.05.06-85:	ASME CSA-Z183	ISO 13623	BS 8010 Part 2.	DIN 2470 DIN 2413
$D_n = 1020$ мм	Нормальний	t_n , мм	7,4	8,1	8,4	9,0	9,7
		t_n , %	100	111	114	123	133
	Середній	t_n , мм	8,7	9,7	9,6	10,8	10,4
		t_n , %	120	133	131	148	142
	Високий	t_n , мм	10,8	11,7	11,7	-	11,0
		t_n , %	149	159	159	-	151

Експериментальні дані зміни внутрішнього тиску отримані за результатами спостережень на ділянці магістрального трубопроводу за 3 місяці. Генеральна вибірка становить 3436 значень, знятих протягом трьох місяців [12, 13]. При цьому навіть при стаціонарному режимі роботи трубопроводу спостерігалися істотні коливання тиску як у сторону збільшення,

так і в сторону зменшення номінального значення тиску.

У роботі трубопроводу протягом вказаного періоду було виокремлено 11 проміжків зі стаціонарним режимом роботи. З метою підвищення достовірності отриманих результатів, до одного проміжку потрапляло не менше 20 вимірів тиску, а тривалість періоду становила не менше 12 годин. У результаті аналізу зроблено

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

висновок про нормальність розподілу внутрішнього робочого тиску у трубопроводі. Стохастичні показники значень робочого тиску: математичне очікування $\bar{p} = 4,56$ МПа; середньоквадратичне відхилення $\hat{p} = 0,314$ МПа.

Коефіцієнт варіації для трубних сталей приймаємо рівним $V_R = 0,1$, що визначає математичне очікування та стандарт для розглядуваної сталі:

$$\bar{R} = \frac{589}{1 - 1,64 \cdot 0,1} = 704,55 \text{ МПа}; \quad (8)$$

$$\hat{R} = 0,1 \cdot 704,55 = 70,46 \text{ МПа}. \quad (9)$$

Функція надійності трубопроводу.

$$\tilde{Y} = \tilde{R} - \tilde{S} = \tilde{\sigma}_y - \tilde{\sigma}_{кц} \geq 0 \quad (10)$$

Математичне очікування та стандарт відповідно:

$$\bar{Y} = \bar{R} - \bar{S} = \bar{\sigma}_y - \bar{\sigma}_{кц} = \bar{\sigma}_y - \frac{\bar{p}D}{2t_{\text{факт}}}; \quad (11)$$

$$\hat{Y} = \hat{R} - \hat{S} = \hat{\sigma}_y - \hat{\sigma}_{кц} = \sqrt{(\hat{\sigma}_y)^2 - \left(\frac{\hat{p}D}{2t_{\text{факт}}}\right)^2}, \quad (12)$$

де $t_{\text{факт}}$ – товщина стінки розрахована згідно методики СНіП.

Характеристика безпеки

$$\beta = \frac{\bar{Y}}{\hat{Y}} = \frac{\bar{\sigma}_y - \bar{\sigma}_{кц}}{\sqrt{(\hat{\sigma}_y)^2 - \left(\frac{\hat{p}D}{2t_{\text{факт}}}\right)^2}} = \frac{\hat{\sigma}_y - \frac{\hat{p}D}{2t_{\text{факт}}}}{\sqrt{(\hat{\sigma}_y)^2 - \left(\frac{\hat{p}D}{2t_{\text{факт}}}\right)^2}}. \quad (13)$$

Імовірність безвідмовної роботи:

$$P(\beta) = 0,5 + \Phi(\beta). \quad (14)$$

де $\Phi(\beta)$ – значень функції Лапласа для відповідного значення характеристики безпеки β .

Таблиця 3

Імовірність безвідмовної роботи ділянки нафтопроводу за параметром кільцевих напружень для товщини стінки розрахованої згідно методики СНіП

Зовнішній діаметр	Умовний клас безпеки	Товщина стінки трубопроводу t_n , мм	СНіП 2.05.06-85:	$\bar{\sigma}_{кц}$, МПа	$\hat{\sigma}_{кц}$, МПа	\bar{Y} , МПа	\hat{Y} , МПа	β	$P(\beta)$
$D_n = 1020$ мм	Нормальний	t_n , мм	7,4	312,20	21,64	392,40	73,71	5,32	$5,79 \cdot 10^{-8}$
	Середній	t_n , мм	8,7	265,55	18,41	439,05	72,82	6,03	$9,8 \cdot 10^{-10}$
	Проектна	t_n , мм	9	256,70	17,79	447,90	72,67	6,16	$2,85 \cdot 10^{-10}$
	Високий	t_n , мм	10,8	213,92	14,83	490,68	72,00	6,81	$5,23 \cdot 10^{-12}$

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Для порівняння, гранично допустима імовірність відмови для класу наслідків (відповідальності) – СС3 має складати $1 \cdot 10^{-6}$, таким чином конструкція має значний запас міцності за параметром кільцевих напружень [4].

Висновки з дослідження та перспективи, подальшого розвитку в даному напрямку.

Товщини стінки, розраховані за іноземними нормами мають достатньо близькі між собою значення, але найбільший запас міцності [123 – 159%] магістрального трубопроводу забезпечується його розрахунком за Британськими нормами BS 8010, що є необґрунтованим з позицій надійності.

Найтонша, а отже найбільш економічна товщина стінки, для усіх класів безпеки, отримана саме за методикою СНіП 2.05.06-85 $t_n \in [7,4...10,8 \text{ мм}]$, загалом економія витрат сталі в середньому складає 10%.

Найбільша мінливість товщини стінки трубопроводу спостерігається у розрахунках за методикою СНіП 2.05.06-85, що пояснюється диференціацію коефіцієнту запасу на декілька коефіцієнтів, кожний з яких відповідає за стохастичну природу окремого параметру.

У результаті оцінки надійності ділянки трубопроводу з товщиною стінки $t_n = 9 \text{ мм}$ (що відповідає «середньому класу» безпеки, та відповідає I – II класу відповідальності згідно класифікації СНіП), імовірність безвідмовної роботи за параметром кільцевих напружень склала $P(\beta) = 2,85 \cdot 10^{-10}$, при цьому гранично допустима імовірність відмови для класу наслідків (відповідальності) – СС3 має складати $1 \cdot 10^{-6}$. Це свідчить про високий запас міцності та надійності незважаючи на відносну економічність отриманої товщини стінки.

Список використаних джерел

1. Харитонов В.А. Строительство магистральных трубопроводов нефти и газа / В.А. Харитонов. – М.: АСВ, 2008. – 496 с.
2. Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем / О.М. Иванцов, И.И. Мазур. – М.: Елима, 2004. – 1104с.
3. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость / А.Б. Айнбиндер. – М.: Недра, 1991. – 284с.
4. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд. – 2009. – 29с.
5. РД 51-4.2-003-97 Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов. – М.: ИРЦ Газпром, 1997. – 90 с.
6. ASME B31.3. Process Piping. American Society of Mechanical Engineers. New York, 1999. – 113 p.
7. EN 1993-4-3 (2007) (English): Eurocode 3: Design of steel structures - Part 4-3: Pipelines [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. – 44 p.
8. Ellenberger J.P. Piping and Pipeline Calculations Manual. Construction, Design Fabrication and Examination / J. Philipp Ellenberger. – USA, Oxford.: Elsevier, 2014. – 398 P.
9. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: монография / С.Ф. Пичугин. – М: Издательство АСВ, 2011. – 452 с.
10. СНіП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 52 с.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

11. Pichugin S.F. Calculation of the reliability of steel underground pipelines / S.F. Pichugin, A.V. Makhin'ko // Strength of Materials. Vol. 41. – Number 5. – Springer Science, 2009. – P. 541 – 547.

12. Зима О.Є. Надійність сталевих конструкцій магістрального трубопроводу: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: 05.23.01 // О.Є. Зима – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – 22 с.

13. Пічугін С.Ф. Надійність сталевих підземних магістральних трубопроводів під час ремонтних робіт та у стаціонарних умовах / С.Ф. Пічугін, О.Є. Зима // Промислове будівництво та інженерні споруди, №4, 2013. – С.6 – 12.

14. Pichugin S.F Probabilistic calculation of the buried petroleum and gas pipelines / S.F. Pichugin, P.Y. Vynnykov // Conference reports materials. Problems of energy and nature use 2013. – Budapest 2014. – С. 108 – 115.

15. Пічугін С.Ф. Розрахунок рівня надійності лінійної частини підземних магістральних трубопроводів / С.Ф. Пічугін, П.Ю. Винников // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 1 (40). – Полтава: ПНТУ, 2014. – С. 109 – 119.

Пічугін Сергій Федорович, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (050) 591-77-28. E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Зима Олександр Євгенович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри Організації і технології будівництва та охорони праці Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (066) 140-35-07. E-mail: zumaee@gmail.com

Винников Пилип Юрійович, аспірант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (067) 280-87-98. E-mail: vynnykov@yandex.ru

Pichugin Sergiy, doctor of technical sciences, professor, head of the “Steel, wooden and plastic constructions department” of Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University. Tel.: (050) 591-77-28. E-mail: pichugin_sf@mail.ru.

Zuma Olexandr, PhD., senior lecturer of the “[Department of organization and technology of building and health safety](#)” Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University. Tel.: (066) 140-35-07. E-mail: zumaee@gmail.com

Vynnykov Pylyp, post graduate of the “Steel, wooden and plastic constructions department” Poltava Yuriy Kondratiuk National Technical University. Tel.: (067) 280-87-98. E-mail: vynnykov@yandex.ru.

Стаття прийнята 21.04.2015 р

УДК 666.972

ОСОБЕННОСТИ АКТИВАЦИОННЫХ СПОСОБОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Канд. техн. наук Е.А. Беличенко, д-р техн. наук С.Н. Толмачев

ОСОБЛИВОСТІ АКТИВАЦІЙНИХ СПОСОБІВ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРНІ РІВНІ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ

Канд. техн. наук О.А. Бєліченко, д-р техн. наук С.М. Толмачов

ESPECIALLY ACTIVATION WAYS TO INFLUENCE THE STRUCTURAL LEVELS OF THE CEMENT CONCRETE

PhD O. Belichenko, DSc S. Tolmachov

В статье рассмотрены активационные способы воздействий на уровни структуры цементных бетонов. Установлены объекты активации и показано, что все активационные воздействия влияют на процессы структурообразования бетонов. Показано, что направление комплексной активации как компонентов бетона, так и его различных структурных уровней является актуальным и требующим серьезного научного исследования.

Ключевые слова: активация, уровни структуры бетона, микронаполнители, структурообразование, цементное тесто, цементный бетон, критерии эффективности.

У статті розглянуті активаційні способи впливу на рівні структури цементних бетонів. Встановлено об'єкти активації та показано, що всі активаційні прийоми впливають на процеси структуроутворення бетонів. Показано, що напрямок комплексної активації як компонентів бетону, так і його різних структурних рівнів є актуальним і вимагає серйозного наукового дослідження.

Ключові слова: активація, рівні структури бетону, мікронаповнювачі, структуроутворення, цементне тісто, цементний бетон, критерії ефективності.

The article discusses ways of influencing the activation levels of the structure of cement concrete. Isolated and grouped different types of influences. Lens is activated and it is shown that all the activation effects affect the processes of the structure of concrete. Separately allocated a block activation using micro- and nanoparticles. It is shown that to date there is no comprehensive mechanism for this type of activation. The use of mineral additives helps to seal these levels by reducing the structure porosity. It is found that the fillers are nanoscale crystallization centers and accelerate crystallization processes, especially in the initial phase of hardening. It is shown that the application of several types of activation leads to the deterioration of concrete performance compared to a single activation effect. The principle of conformity, according to which to obtain concrete with desired properties (or high rates) must be observed correspondence between the characteristics of raw materials and their processing methods, ie activation. This principle provides the application specific effects for a particular component (s) at the right time and in the required amount. It is shown that the direction of a comprehensive activation of both components of the concrete and its different structural levels is urgent and requires serious research.

Keywords: activation, levels of the concrete structure, microfiller, structure, cement paste, cement concrete, performance criteria.

Введение. Прочность и долговечность строительных материалов определяется особенностями их структуры. Для обеспечения их высоких значений

необходимо научиться управлять процессами возникновения и развития структуры. Бетон представляет собой полиструктурную систему, поэтому в ней исследователи выделяют несколько структурных уровней [1, 2]. Последовательность структур представлена следующим образом: субмикроструктура (истинный или коллоидный водный раствор растворимых или нерастворимых веществ) входит составной частью в микроструктуру; микроструктура (цементное тесто в незатвердевшем или затвердевшем состоянии) входит в состав мезоструктуры; мезоструктура (цементно-песчаная растворная смесь или цементно-песчаный раствор) является составляющей макроструктуры бетона; макроструктура (крупный заполнитель совместно с цементно-песчаной частью), объединяющая все предыдущие уровни.

Все уровни структуры бетона взаимозависимы между собой, т.е. имеет место подчиненность более грубых и менее однородных структурных уровней, более дисперсным и упорядоченным. Свойства микроструктуры определяют свойства мезоструктуры, а свойства мезоструктуры определяют свойства макроструктуры. Можно сказать, что совершенство более дисперсного уровня предопределяет качество структуры более грубой. Такое деление структуры бетона на уровни вызвано в первую очередь тем, что каждый из них удобно рассматривать как единое целое, с присущей ему определенной степенью однородности. Это позволяет, предложив ту или иную физико-химическую или физико-механическую модель поведения определенного уровня структуры, применить законы физико-химической механики и механики разрушения и описать состояние бетона в данный момент времени и прогнозировать его поведение в период эксплуатации.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Однако, даже в случае идеального подбора материалов, бетон имеет высокую степень неоднородности, которая возрастает с

переходом от низшего уровня структуры к высшему. Минимальная неоднородность присуща субмикроструктуре, максимальная – макроструктуре. Повышение однородности всех уровней структуры является одной из задач бетоноведения, решение которой позволит улучшить эксплуатационные свойства бетона. Наиболее простое решение этой задачи возможно за счет последовательного повышения однородности конкретно каждого структурного уровня индивидуально. Например, для субмикро- и микроуровня наиболее подходящим является физико-химическая активация. Для уровней более грубых – мезо- и макроуровня наряду с физико-химической эффективным является структурная активация (улучшение гранулометрии, повышение качества вяжущих и заполнителей и др.), а также физико-механическая активация. В каждом конкретном случае для достижения максимального результата следует выбирать определенные виды активации.

Анализ многочисленных исследований позволяет сгруппировать различные виды воздействий. Активация может быть осуществлена химическим, физическим, физико-химическим, механическим способами. Объекты активации изображены на рис. 1. Следует отметить, что все воздействия оказывают влияние на характер структурообразования бетонов.

Отдельно можно выделить структурную активацию с помощью тонкоизмельченных микро- и нанонаполнителей. В первую очередь, она затрагивает микро- и мезоуровень. На сегодня отсутствует полный механизм этого вида активации. Известно, что применение минеральных добавок способствует уплотнению этих уровней структуры за счет снижения пористости [3, 4].

Новизна работы. По нашим данным наполнители наноуровня, являясь центрами кристаллизации, способствуют ускорению процессов кристаллизации, особенно на начальном этапе твердения, что подтверждают данные о высокой ранней прочности бетонов с наномодификаторами [5].



Рис. 1 Объекты активации

Эффективность каждого отдельного разработанного метода воздействия доказана многочисленными исследованиями и подтверждена на практике. Логично было бы предположить, что применение нескольких видов активации приведет к адекватному улучшению качества структуры бетона. Однако, вся проблема заключается в том, что исследователи применяют несколько методов без строгого научного обоснования необходимости их применения. Иными словами, критериальность при выборе комплекса методов воздействия отсутствует. Более того, отсутствует обоснование времени приложения воздействий (например, последовательность или параллельность приложения), их продолжительности. Исследователи практически не учитывают основные особенности заполнителей, температурно-влажностные режимы твердения и другие условия. Это приводит к тому, что

результаты исследований различных ученых не совпадают, более того, они могут противоречить друг другу.

Часто получаемые данные о приложении комплекса методов активации свидетельствуют о том, что из нескольких видов воздействий эффективен только один и улучшение показателей бетона обусловлено только этим видом активации. В некоторых случаях, приложение нескольких видов активации приводит к ухудшению показателей бетона по сравнению с одним активационным воздействием. Причем это может проявиться не сразу, а с течением времени. Например: в дорожных монолитных бетонах применение микроструктурной активации (введение микронаполнителей) и физико-химической активации (введение комплекса суперпластификатор + воздухововлекающая добавка) приведет к резкому уменьшению количества вовлеченного воздуха и

снижению пластифицирующего эффекта, а значит ухудшению качества бетона. Причиной в этом случае является традиционный подход к введению всех добавок – одновременно.

Удачным решением, позволяющим исключить хаотическое приложение активационных воздействий, явился предложенный О.П. Мчедловым-Петросяном «принцип соответствия» или «принцип когерентности» [6]. Согласно этому принципу для получения бетона с заданными свойствами (или высокими показателями) должно быть соблюдено соответствие между характеристиками исходных материалов и методами их обработки, т.е. активации. Это принцип, который предусматривает приложение определенного воздействия для определенного компонента (компонентов) в нужное время и в необходимом объеме. В основе принципа лежат фундаментальные законы физико-химической механики, физической химии и ее раздела коллоидной химии. Практическим приложением является, например, принцип оптимальной дисперсности, позволяющий уменьшить гранулометрическую неоднородность материала на различных уровнях структуры. Теория образования и развития дисперсных структур хорошо освещена в работах П.А. Ребиндера и его учеников [7]. В первую очередь это относится к цементному тесту и далее микроструктуре цементного бетона, т.е. твердеющему или затвердевшему цементному камню. О.П. Мчедлов-Петросян показал также основные факторы, влияющие на качество получаемого бетона: качество исходных компонентов, условия изготовления бетонной смеси, изготовления и эксплуатации бетонных изделий.

Анализ исследований и публикаций.

Развитие этих положений применительно к цементному бетону нашло отражение в исследованиях И.Н. Ахвердова, В.И. Бабушкина, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, И.М. Грушко, Л.И. Дворкина, В.М. Москвина, А.Н. Плугина, И.А. Рыбьева, В.И. Соломатова, А.Е. Шейкина, Л.Г. Шпыновой, А.В. Ущерова-Маршака и их последователей. Однако, в этих работах в

основном были рассмотрены отдельные виды активационных воздействий, касающиеся в первую очередь мезо- и макроструктуры бетона. Теория направленного структурообразования на уровне микроструктуры и частично субмикроструктуры получила развитие в работах школы А.Н. Плугина [8]. В них, в частности, отмечено, что характер формируемой микроструктуры бетона определяет его свойства.

Рассмотрим некоторые виды активационных воздействий. Одним из распространенных физических способов активационного воздействия на воду (водный раствор добавок) затворения является обработка магнитным полем [9, 10]. По данным В.И. Классена [9] кратковременные воздействия электромагнитного поля на гетерогенные водные системы приводят к изменению скорости протекания химических реакций за счет изменения кинетики растворения минералов клинкера. Им же отмечено влияние магнитного поля на процессы смачивания, коагуляции и кристаллизации [9]. Как отмечал А.И. Зятков, обработка воды магнитным полем приводит к изменению поверхностного натяжения и характера адсорбции добавок [10]. Однако, известно, что такое воздействие нестабильно, продолжительность эффекта очень мала, какие-либо критерии оценки эффективности, кроме конечных показателей бетона (в основном, прочности) отсутствуют.

Исследования, проведенные под руководством И.М. Грушко [11, 12] показали, что механоактивация цементно-водной суспензии в роторно-пульсационном аппарате (РПА) приводит к увеличению прочности бетонных изделий. Это можно объяснить тем, что при таком способе активации в водную среду попадает большое количество искусственных зародышей кристаллизации, образующихся при кавитационном разрушении любых микрочастиц (в том числе цемента и др.) в РПА. Это позволяет ускорить процессы структурообразования за счет ускорения кристаллизации. Рассмотренная физико-

механическая активация компонента микроструктуры обеспечивала достаточно стабильный эффект для цементных и зольных суспензий, однако, величина его была различной, а продолжительность воздействия не была определена.

Основная часть исследований.

Применение химических добавок, которые вводят в бетонную смесь через жидкую фазу, относится к физико-химической активации, действие которой направлено на изменение свойств субмикро- и микроструктуры. Ее эффективность во многом определяется составом и строением добавок, а также видом вяжущего. По своим свойствам химические добавки не всегда являются модификаторами воды затворения, изменяющими ее свойства. В первую очередь добавки изменяют поверхностные свойства исходных минералов и новообразований цемента, а жидкая фаза служит передаточным звеном для получения желаемого эффекта. Это наиболее изученный и часто применяемый способ активации. Но и в данном случае, необходимы критерии, позволяющие определить временные интервалы и продолжительность других видов воздействия.

На протяжении нескольких десятилетий в технологии тяжелых бетонов в качестве модификаторов микро- и мезоструктуры бетонов применяют тонкоизмельченные микронаполнители. Этот вид структурной активации направлен на изменение характеристик микро- и мезоструктуры. Имеется большой практический опыт применения в качестве дисперсных минеральных наполнителей (микронаполнителей) золы-уноса, шлаков, микрокремнезема и др. Л.И. Дворкин с соавторами показали [13], что высокодисперсные активные минеральные наполнители в цементных системах влияют на структурообразование и свойства бетонов.

В.И. Соломатов и А.Н. Бобрышев показали, что прочность дисперсно-наполненных композитов зависит от степени наполнения [14]. Она имеет волнообразный характер с максимумами и минимумами.

Снижение прочности при введении микронаполнителей авторы объясняют тем, что отдельные, не связанные между собой частицы наполнителя, при определенных количествах не способны эффективно упрочнять композит. Такие частицы служат концентраторами напряжений и инициаторами внутреннего трещинообразования. Их введение может как упрочнить структуру, так и нарушить ее упорядоченность, повышая дефектность. В этом случае мы сталкиваемся с примером отрицательного влияния микроструктурной активации бетона, которая может быть устранена применением другого способа воздействия, возможно, на другой уровень структуры бетона.

А.Г. Ольгинский показал [15], что микронаполнитель не является инертным, а выступает в роли активного адсорбента и способствует повышению степени гидратации вяжущего с одной стороны, а с другой обеспечивает более полную закристаллизованность гидратов. Им же показана эффективность физико-химической активации различных по минеральному составу крупных и мелких заполнителей растворами щелочей и кислот. К сожалению, в последнем случае эффект такой активации нивелировался при введении в состав растворной или бетонной смеси суперпластификаторов. В этом случае мы сталкиваемся со случаем, когда один вид активации «мешает» проявлению другого.

По мнению А.Ю. Полака [16] в объеме цементного камня могут возникать растягивающие напряжения, если параметры наполнения выходят за границы оптимума. Для того, чтобы снять растягивающие напряжения Л.И. Дворкин с соавторами [13] предлагает использовать полифракционный микронаполнитель, содержащий зерна различной крупности, размер которых может находиться в диапазоне от нескольких микрон до десятых долей миллиметра. Такая полифракционность, по их мнению, может позволить создавать в твердеющей системе контакты, обусловленные силами электростатического притяжения между частицами различной крупности.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Исходя из вышеизложенного можно сказать, что направление комплексной активации как компонентов бетона, так и его различных структурных уровней является весьма актуальным и требующим серьезного научного исследования. В Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете на кафедре технологии дорожно-строительных материалов в течение многих лет проводят исследования как по применению различных видов активации в бетонных смесях и бетонах, так и по обобщению многолетнего опыта работы других исследователей в этой области. В качестве основных задач мы определяем:

- необходимость выделения нескольких (двух-трех) контролируемых параметров активации цементного камня, раствора и бетона;

- определение критериев эффективности (не более трех-четырёх, основных) для каждого принятого вида активации;

- изучение особенностей приложения конкретного вида активации, исходя из показателей качества применяемых заполнителей и вяжущего, технологии изготовления смесей и условий твердения.

Такой подход, по нашему мнению, позволит усовершенствовать научные основы применения различных видов активации в технологии цементных бетонов.

Список использованных источников

1. Грушко И.М. Структура и прочность дорожного цементного бетона [Текст] / Грушко И.М., Глущенко Н.Ф., Ильин А.Г. - Харьков: Харьковский государственный университет, 1965. - 135с.
2. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В.И. Бабушкин. - М.: Стройиздат, 1968. - 187с.
3. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.: ил.
4. Теория цемента [Текст] / Под ред. А.А. Пашенко. – К.: Будівельник, 1991. – 168 с.: ил.
5. Толмачев С.Н. Применение углеродных коллоидных наночастиц в мелкозернистых цементных бетонах [Монография] [Текст] / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 152 с.
6. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов [Текст] / О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 224 с.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Стройиздат, 1966. – 400 с.
8. Плугин А.Н. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций [Текст] / Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А. // *Цемент*. - 1997. - № 2. - С. 28 – 32.
9. Классен В.И. Омагничивание водных систем [Текст] / В.И. Классен. – М.: Химия. – 1982. – 296 с.
10. Зятков А.И. Физическая адсорбция магнитообработанной воды [Текст] / А.И. Зятков // *ЖПХ*. – 1975. – Т. 48. - № 11. – С. 2430 – 2433.
11. Грушко И.М. Влияние обработки цементных суспензий на ускоренное твердение бетонов [Текст] / И.М. Грушко, В.А. Бирюков, И.И. Селиванов, И.Ф. Киселев // *Бетон и железобетон*. – 1981. - № 3. – С. 38 – 40.
12. Солдатенко С.Е. Механохимическая активация малоцентрированных цементно-водных суспензий для интенсификации твердения бетона при тепловой обработке: дисс. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Солдатенко Сергей Евгеньевич. – Х., 1990. – 288 с.
13. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / [Дворкин Л.Й., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М.]. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.

14. Соломатов В.И. Эффекты сингулярности в изменении прочности наполненных композитов [Текст] / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев // *Известия вузов, Серия: Строительство и архитектура.* – 1990. – № 10. – С. 53 – 56.

15. Ольгинский А.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минералами заполнителя: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.05 / Ольгинский Александр Георгиевич. – Х., 1994. – 380 с.

16. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ: Вопросы теории [Текст] / А.Ф. Полак. – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.

Belichenko Elena Anatoliivna канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Тел.: (057) 707-37-42. E-mail: Belichenko_khadi@mail.ru

Tolmachev Sergey Nikolaevich д-р техн. наук, профессор кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Тел.: (057) 707-37-42. E-mail: Tolmach_serg@mail.ru

Belichenko Olena Anatoliivna candidate of technical Sciences, researcher department of production engineering of road building materials Kharkov national automobile und highway university. Tel.: (057) 707-37-42. E-mail: Belichenko_khadi@mail.ru

Tolmachov Sergii Mikolajovich Doctor of Technical Sciences, Professor department of production engineering of road building materials Kharkov national automobile und highway university. Tel.: (057) 707-37-42. E-mail: Tolmach_serg@mail.ru

Стаття прийнята 27.05.2015 р

УДК 625.141.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ БАЛАСТНОГО ЩЕБЕНЮ

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, інж. И.В. Багіянц

ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ БАЛЛАСТНОГО ЩЕБНЯ

Канд. техн. наук Л.В. Трикоз, инж. И.В. Багиянц

THE RESEARCH OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF BALLAST BREAKSTONE

Cand. of techn. sciences L.V. Trykoz, eng. I.V. Bagiyanc

У статті розглянуто вплив ступеня забрудненості баластного щебеню на величину його питомої електричної провідності. Встановлено, що в залежності від виду покриття на зернинах щебеню ця величина може змінюватися у 3-10 раз. Таке покриття може бути запропоновано для обробки чистого щебеню перед його укладанням у колію під час ремонтів для продовження термінів експлуатації баластного шару, попередження адгезійного забруднення та ліквідації випадків помилкової вільності рейкових кіл.

Ключові слова: щебінь, питома електрична провідність, рейкове коло

В статье рассмотрено влияние степени загрязненности балластного щебня на величину его удельной электрической проводимости. Установлено, что в зависимости от вида покрытия на зернах щебня эта величина может изменяться в 3-10 раз. Такое покрытие может быть предложено для обработки чистого щебня перед его укладкой в путь во время ремонтов для продления сроков эксплуатации балластного слоя, предупреждения адгезионного загрязнения и ликвидации случаев ложной занятости рельсовых цепей.

Ключевые слова: щебень, удельная электрическая проводимость, рельсовая цепь

The article considers the influence of the degree of contamination of the ballast breakstone on the absolute value of its specific electrical conductivity. Types of coatings were analyzed such as: dirt, rosin, varnish, bitumen, bituminous roofing mastic, acrylic primer, silicone. It is found that, depending on the type of coating on the grains of breakstone, the value of its specific electrical conductivity may range in 3-10 times. The greatest effect of lowering the specific electrical conductivity give a rosin-based coating. Such a coating may be asked for handling of the clean breakstone before laying to the railway during repairs. It ensures prolonging the service life of the ballast layer. It will prevent adhesion of pollution and emergence of cases of false employment of track circuits.

Keywords: *breakstone, specific electric conductivity, track circuit*

Вступ. Головне завдання колійного господарства полягає в утриманні залізничної колії (через відповідну систему її технічного обслуговування) постійно у справному стані, який забезпечує безперебійний та безпечний рух поїздів із встановленими швидкостями. На організацію та планування робіт поточного утримання та ремонтів колії суттєво впливають експлуатаційні умови роботи залізниць:

вантажонапруженість, навантаження на вісь рухомого складу та швидкість руху поїздів, частоту виконання ремонтів і витрати праці на поточне утримання колії, а також обсяг перевезень сипучих вантажів, що визначає інтенсивність засмічування та забруднення баласту [1]. До складу забруднень входять залишки перевезених вантажів, мінеральні та органічні домішки, розчинені солі, добрива, витоки з цистерн під час заправки, перевезень і відстою через несправність котлів і зливних приладів цистерн та ін. Найбільш забрудненим вважається баластний щебінь, що експлуатується безпосередньо під дерев'яними або залізобетонними шпалами, а також у місцях, що інтенсивно забруднюються внаслідок специфіки умов експлуатації, таких як стрілочні переводи, завантажувально-вивантажувальні шляхи, шляхи відстою рухомого складу і т.п. Завершення строку служби баласту визначається моментом, коли він забруднюється до граничного рівня і втрачає свої властивості. При цьому баласт потребує очищення або суцільної заміни на новий.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Забруднення баласту різноманітними

речовинами призводить до зниження його питомого опору або опору ізоляції між рейковими нитками, тобто опору струму витоку з однієї рейкової нитки в іншу через шпали та баласт, віднесене до 1 км рейкової лінії. Незабезпечення нормального режиму може призвести до несправності, що має назву «помилкова зайнятість», тобто до визначення зайнятого стану рейкового кола при фактично вільному. В результаті стає неможливо перевести стрілку, встановити маршрут і відкрити світлофор, або відбувається перекриття світлофора з дозволяючого показання на заборонне, що може призвести до затримок у прийомі – відправленні поїздів, до затримок при виконанні маневрових переміщень по станції, до затримок у виконанні розформування на сортувальних пристроях. Виникнення міжопераційних простоїв у використанні технічних засобів на перегонах та станціях призводить до затримок поїздів на підході до станції, збільшення загального часу знаходження вагона на станції і як результат до збільшення обігу вагона, зниження пропускну та переробної спроможності станції із-за втрат часу, пов'язаних з простоями [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найрізноманітніші методи утримання баласту, що використовуються на залізничному транспорті, мають значні експлуатаційні витрати, тому в різних джерелах інформації приділяють увагу способам очищення баласту зі зменшенням матеріальних вкладень, утилізації відпрацьованого щебеню або забруднень, удосконаленню способів діагностування стану баластної призми.

На сьогоднішній день існує проблема ефективної утилізації відпрацьованого

баластного щебеню, який накопичується у значних об'ємах при реконструкції та поточному утриманні колій. Як показали попередні дослідження, вирішення цієї проблеми буде мати значний екологічний та економічний ефект [3, 4]. У [3] перелічено відомі способи очищення забрудненого щебеню (залежно від ступеня забруднення): сухе грохочення, промивка, гравітаційне збагачення, екстракційні технології для розчинення забруднювачів за допомогою спеціальних хімічних реагентів у рідкому виді.

Для забезпечення нормального стану і розмірів баластної призми Інструкція [1] передбачає двічі на рік проводити обстеження з визначенням відсотку забрудненості баластного шару. Для щебеню відсоток забрудненості визначається як відсоток маси частинок з розмірами менше нижньої границі фракції (25 мм). Кількість забруднювачів у цьому випадку визначають просіюванням через сито з відповідними отворами. Такий спосіб надає інформацію тільки про механічні забруднення, залишаючи без уваги адгезійне налипання забруднювачів на поверхні, які не відокремлюються під час просіювання. Для підвищення ступеню інформативності у [5] наведено дані про геофізичні способи визначення забрудненості – використання ефекту Холла або георадіолокаційне обстеження баластного шару з реєстрацією радарограм. У той же час вимірюванню електричного опору баласту в рейкових колах не приділяється достатньо уваги. Наприклад, згідно з Інструкцією [6] таке вимірювання виконується електромеханіком і шляховим майстром за необхідності в разі нестабільної роботи рейкового кола або при забрудненні баласту, але не рідше, ніж один раз в п'ять років. Це призводить до частого виникнення згаданої вище проблеми помилкової вільності колій.

Аналіз існуючих патентів свідчить, що головним чином проблема покращення баластного шару, на погляд авторів патентів, виникає при його зношуванні через рух поїздів або вибивання зернин щебеню при проходженні високошвидкісних потягів. У патентах пропонується попередити ці явища

за рахунок просочення верхнього щебеневого шару різними полімерними в'язучими – на основі поліуретану [7], синтетичного латексу [8], бітумної емульсії [9] та ін. Однак у літературних джерелах відсутні дослідження зміни електричної провідності щебеню після такої обробки, що є дуже важливим для правильної роботи рейкових кіл. Крім того, на наш погляд, таке просочення може попередити адгезійне налипання забруднювачів, що збільшить строк служби баласту та зменшить кількість його очищення.

Метою досліджень є вивчення впливу поверхневої обробки щебеню на питому електричну провідність баластового шару для запобігання виникненню помилкової вільності колій.

Основний матеріал експериментальних досліджень.

Електроізоляційні властивості щебеню характеризуються питомою електричною провідністю насиченого розчину, що утворився від розчинення щебеню у дистильованій воді. За ДСТУ [10] її значення повинне бути не більше 0,06 См/м. У даній роботі електричну провідність обробленого щебеню визначали за такою методикою. Зразки щебеню заливали дистильованою водою у пропорціях, регламентованих [10], і ретельно перемішували до одержання насиченого розчину. Насиченість розчину визначали шляхом періодичного вимірювання його електричної провідності у вимірювальному кубі доти, поки електрична провідність розчину не стабілізується. Постійна електрична провідність розчину свідчить про те, що розчин став насиченим.

Після цього вимірювальні електроди зачищали до блиску і встановлювали їх на двох протилежних бічних стінках вимірювального кубу. Куб промивали дистильованою водою і наливали у нього отриманий насичений розчин, електричну провідність якого необхідно визначити. Рівень налитого розчину збігався з верхніми краями електродів. Виводи електродів підключали до вимірювального пристрою (рисунок).

Вимірювальний пристрій дає можливість отримувати значення електричного опору R ,

Ом, насиченого розчину. Електричну провідність α визначали за формулою

$$\alpha = \frac{56,25}{R},$$

де R – електричний опір насиченого розчину, Ом;

56,25 – коефіцієнт, постійний для вимірювального куба.

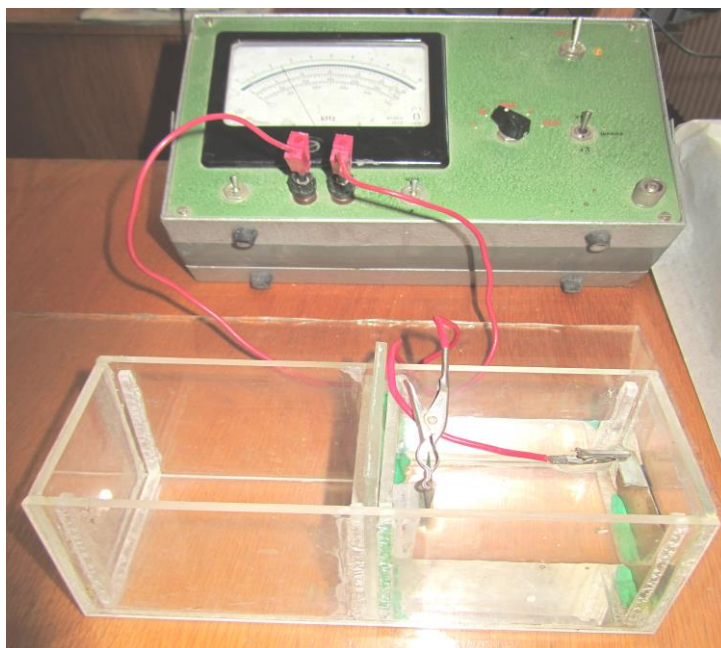


Рис. Пристрій для визначення електропровідності щебеню

Електричну провідність визначали як для чистого баластного щебеню, так і для забрудненого. Для вивчення впливу покриття на електричну провідність на поверхню щебеню наносили такі речовини: бітум, каніфольну та каніфольно-гліцеринову суміш, лакове покриття, бітумну покрівельну мастику, акрилову ґрунтівку, силікон. Значення вимірної питомої електропровідності зазначених зразків наведено в таблиці.

Як свідчать дані вимірювань найбільше (майже вдсятеро у порівнянні з чистим щебенем, зразок № 1) електричну провідність зменшило каніфольно-гліцеринове та каніфольне покриття (зразки № 5 і 7). Також суттєве зниження провідності спостерігається для силіконового покриття (зразки № 13 і 7). Бітумне покриття на чистому щебені зменшило електричну провідність у 2,5 рази (зразок № 3), а лакове – навпаки, призвело до збільшення питомої електричної провідності у два рази (зразок № 8).

Покриття бітумною покрівельною мастикою на електричну провідність не вплинуло (зразки № 10 і 11). В усіх випадках покриття забрудненого щебеню дає значно гірші результати у порівнянні з покриттям чистого щебеню.

Висновки з даних досліджень та перспективи подальших досліджень. Експериментально доведено, що покриття баластного щебеню органічними речовинами впливає на величину його електричної провідності. Найбільший ефект зниження питомої електричної провідності спостерігався для покриття на основі каніфольно-гліцеринової суміші та силікону. Таке покриття може бути запропоновано для обробки чистого щебеню перед його укладанням у колію під час ремонтів для продовження термінів експлуатації баластного шару, попередження адгезійного забруднення та ліквідації випадків помилкової вільності рейкових кіл.

Значення питомої електричної провідності досліджуваних зразків

№ зразка	Опис зразка	Питома електрична провідність, См/м
1	Щебінь чистий	0,023
2	Щебінь забруднений	0,011
3	Щебінь чистий з бітумним покриттям	0,009
4	Щебінь забруднений з бітумним покриттям	0,010
5	Щебінь чистий з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,003
6	Щебінь забруднений з каніфольно-гліцериновим покриттям	0,008
7	Щебінь чистий з каніфольним покриттям	0,004
8	Щебінь чистий з лаковим покриттям	0,056
9	Щебінь забруднений з лаковим покриттям	0,010
10	Щебінь чистий з покриттям бітумною мастикою	0,023
11	Щебінь забруднений з покриттям бітумною мастикою	0,024
12	Щебінь чистий з покриттям акриловою ґрунтівкою	0,012
13	Щебінь чистий з силіконовим покриттям	0,006
14	Щебінь забруднений з силіконовим покриттям	0,004

Список використаних джерел

1. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України [Текст]: ЦП-0269: затв. Укрзалізницею 01.03.2012. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
2. Багіянець, І. В. Залежність якості роботи залізничного транспорту від масового перевезення мінеральних добрив [Текст] / І. В. Багіянець // Сб. науч. трудов SWorld. – Вып. 2(39). – Том 1. – Иваново: Маркова АД, 2015. – ЦИТ: 215-279. – С. 51–57.
3. Аналіз існуючих способів очищення і утилізації забрудненого баластного щебеню [Текст] / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. П. Лисняк, О. В. Громова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2007. – Вип. 17. – С. 209-213.
4. Сніжко, Л. О. Утилізація відпрацьованого баласту з метою зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище [Текст] / Л. О. Сніжко, Л. О. Яришкіна, В. Ю. Бондаренко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тез. 71 Междунар. науч.-практ. конф. (14.04.2011-15.04.2011) / М-во инфраструктуры Украины, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Восточный научный центр транспортной академии Украины. – Днепропетровск, 2011. – С. 282-283
5. Способ определения загрязненности балластного слоя железнодорожного пути [Текст]: пат. 2395638 Рос. Федерация: МПК [E01B27/00](#), [G01N22/00](#) / В.А. Явна [и др.]; патентообладатель ОАО "Российские железные дороги". – Заявл. 21.05.09; опубл. 27.07.10.
6. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування [Текст]: ЦШ-0060: затв. Укрзалізницею 07.10.2009. – К., 2009. – 87 с.
7. Способ укрепления балластной призмы железнодорожного пути [Текст]: пат. 2469145 Рос. Федерация: МПК [E01B1/00](#), [E01B27/02](#) / О.А. Мичурин [и др.]; патентообладатель ООО "ЭЛАСТОИМПЭКС". – Заявл. 05.05.11; опубл. 10.12.12.

8. Балластная призма для скоростных грузонапряженных участков бесстыкового железнодорожного пути [Текст]: пат. 2475580 Рос. Федерация: МПК [E01B1/00](#), [E02D3/12](#) / В.В. Тюньков [и др.]; патентообладатель ИрГУПС. – Заявл. 12.04.11; опубл. 20.02.13.

9. Способ усиления железнодорожного пути [Текст]: пат. 2448212 Рос. Федерация: МПК [E01B27/12](#) / В.И. Грицык, М.В. Окост; патентообладатели В.И. Грицык, М.В. Окост. – Заявл. 09.03.10; опубл. 20.04.12.

10. Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови [Текст]: ДСТУ Б В.2.7-204:2009. – Введ. 12.12.2009. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 13 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Плугін А.А.

Трикоз Людмила Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Багіянц Ірина Вікторівна, здобувач кафедри залізничні станції та вузли Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Trykoz Liudmyla, cand. of techn. sciences, associate professor Department Building Materials, Constructions and Structures Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-10-68. E-mail: lvtrikoz@ukr.net

Bagiyanc Irina, applicant of Department Railway stations and nodes Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057)730-19-49. E-mail: bagira54017@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 624.014.2:691.32

КЛЕЙОВІ З'ЄДНАННЯ СТАЛІ ТА БЕТОНУ

Д-р техн. наук Л.І. Стороженко, канд. техн. наук Ю.О. Давиденко, асист. О.Г. Горб, інж. О.О. Горб

КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СТАЛИ И БЕТОНА

Д-р техн. наук Л.И. Стороженко, К-т техн. наук Ю.А. Давиденко, ассист. А.Г. Горб, инж. О.А. Горб

ADHESIVE CONNECTIONS OF STEEL AND CONCRETE

DSc L.I. Storogenko, PhD Y.O. Davydenko, Assistant O.G. Gorb, Eng. O.O. Gorb

У статті наведені відомості про експериментальні дослідження залізобетонних балок підсиленних листовим та профільним зовнішнім армуванням, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Випробування проводилися з метою визначення несучої здатності та характеру деформування елементів. Виконане порівняння конструкцій із клейовим з'єднанням та без нього.

Ключові слова: клейове з'єднання, балка, зовнішнє армування, сумісна робота, несуча здатність, прогин.

В статье приведены сведения об экспериментальных исследованиях железобетонных балок усиленных листовым и профильным внешним армированием, в которых совместная работа стали и бетона обеспечивается с помощью склеивания. Испытания проводились с целью определения несущей способности и характера деформирования элементов. Выполнено сравнение конструкций с клеевым соединением и без него.

Ключевые слова: клеевое соединение, балка, внешнее армирование, совместная работа, несущая способность, прогиб.

The article contains information about experimental research on the reinforced concrete beams with steel plates and profile external reinforcement in which joint work of steel and concrete is provided with gluing. Polymer composite, such as acrylic adhesive, was used for the creation of connection. Their usage is most common in modern building practice in strengthening, reconstruction and restoration of bearing structures by high strength, good adhesive and cohesive properties, durability. Tests were conducted to determine the nature of the deformation and bearing capacity elements. As a result of the research were obtained true values of relative deformations of normal sections, deflections for different stages of loading and bearing capacity. Steel and concrete glue connection structure and steel and concrete structure comparison was done.

Keywords: *adhesive bonding, beam, external reinforcement, joint work, bearing capacity, deflection.*

Вступ. На сьогодні в будівельній індустрії все частіше при підсиленні, реконструкції та відновленні залізобетонних конструкцій та при влаштуванні анкерування використовуються різноманітні полімерні розчини. Для забезпечення сумісної роботи бетону і сталі, за рахунок ряду переваг та відносно низької вартості, найбільш раціональним є використання акрилового клею. Досить вузький спектр шляхів його застосування в будівництві поки що не в повній мірі розкрив великий потенціал акрилових полімерів. Отже, існує потреба в нових експериментальних дослідженнях і теоретичному вивченні композитних конструкцій, в яких сумісна робота складових частин забезпечується за допомогою акрилового клею.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідженнями акрилових клеїв, їх складу і властивостей, при забезпеченні сумісної роботи сталі та бетону в будівельних конструкціях, займається ряд наукових шкіл створених в провідних вузах України технічного спрямування сумісно з провідними іноземними фахівцями (Харківська національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Полтавський національний технічний університету імені Юрія Кондратюка, Національний авіаційний університет та ін.). З метою практичного використання набутого в цій галузі досвіду та розширення сфери застосування досліджених полімерів виникає необхідність в теоретичному і експериментальному вивченні з'єднань бетону та сталі влаштованих шляхом склеювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження акрилових клеїв різного складу дозволили довести їх перевагу порівняно з іншими полімерами при забезпеченні сумісної роботи бетону і сталі [1, 9]. Навіть новітні анкерувальні засоби [2, 3, 5-8] не витримують конкуренції щодо економічності, технологічності та матеріалоемності при відновленні перерізів залізобетонних згинальних елементів у порівнянні з клеями. Застосування з'єднань сталі та свіжоукладеної бетонної суміші з допомогою акрилового клею [4] дозволяють обійтися без анкерування. Отже, використання з'єднань на основі акрилових клеїв замість традиційних способів забезпечення сумісної роботи сталі і бетону при підсиленні та реконструкції залізобетонних згинальних елементів є перспективним напрямом експериментальних і теоретичних досліджень.

Визначення мети та задачі дослідження. Експериментальні випробування було проведено з метою дослідження: клейових з'єднань бетонної та сталеві частин залізобетонних згинальних елементів для підвищення їх міцності; сумісної роботи сталі та бетону при їх склеюванні; особливостей деформування на різних стадіях завантаження; характеру руйнування дослідних зразків.

Основна частина дослідження. Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи підсиленних залізобетонних елементів із використанням клейового з'єднання бетону та сталі були запроєктовані згинальні елементи

прямокутного перерізу прольотом 2,1 м із підсиленням і без нього.

Зразки поділялись на 3 серії, призначення яких відповідає вимогам для окремого вивчення різних факторів, від котрих може залежати ступінь впливу згинального моменту на міцність і деформативність досліджуваних конструкцій. Вивчаючим фактором є наявність та тип підсилення за рахунок клейового з'єднання сталеві та бетонної частини.

Зразки згинальних елементів – залізобетонні балки прямокутного перерізу розміром 200×100 мм. Армування виконане у вигляді каркасу, який складається з двох розтягнутих та двох стиснутих стержнів діаметром 10 мм класу А400С, з'єднаних поперечними хомутами з кроком 200 мм. При цьому захисний шар становить 20 мм. Балки виготовлені з важкого бетону класом за міцністю С16/20. Відрізняються зразки один від одного наявністю та типом підсилення у вигляді приклеєного зовнішнього армування. Тобто зразок Б1 не має підсилення, зразок Б2 підсилений сталевим листом розміром 2100×100×5 мм, зразок Б3 підсилений парою рівнополічкових кутиків 40-5 довжиною 2,1 м (рис. 1).

Для влаштування клейового з'єднання використовується двохкомпонентний акриловий клей з наповнювачем. Найбільш оптимальним складом клею для проведення будівельних робіт є: 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача, 150 – 300 мас-частин наповнювача в залежності від крупності кварцового піску. В нашому випадку ця пропорція становить 1:1:2. Як наповнювач може використовуватися кварцовий пісок із крупністю зерен від 0,16 до 0,63 мм. Пісок повинен бути сухим, без сторонніх домішок і включень. Для підвищення адгезійних, когезійних, технологічних та ін. властивостей можуть застосовуватися модифікатори (наприклад, оксид цинку ZnO).

Наповнюваність акрилового клею залежить від складу компаунда і крупності зерен піску. Так, зі збільшенням кількості затверджувача з 60 до 200 мас-частин на 100

мас-частин полімеру, наповнюваність кварцовим піском із крупністю зерен 0,16 мм збільшується з 160 до 700 мас-частин.

Однією з найважливіших технологічних характеристик клею є його життєздатність, тобто проміжок часу, протягом якого його можна застосовувати для виготовлення конструкцій. Вона залежить від його складу і температури середовища. Наприклад, для одного й того складу клею при зміні температури від 25 до 10°C життєздатність складає 16 – 250 хв., яка також значно зростає зі збільшенням кількості затверджувача. Акрилова пластмаса полімеризується без виділення побічних речовин, що позитивно позначається на якості клейового шва і міцності матеріалу.

Акрилові клеї мають високу довговічність. При багаторазовому заморожуванні і відтаванні міцність на стиск через 20 циклів зменшується на 10%. Потім вона зростає і до 140 циклів досягає свого початкового значення. Збільшення міцності спостерігається до 180 циклів і складає 2,1% у порівнянні з початковою величиною. Надалі до 500 циклів істотних змін міцності не спостерігалось.

Таким чином можна стверджувати, що акриловий клей володіє високими технологічними та когезійними властивостями. Він простий і надійний у приготуванні, має низьку в'язкість, яка не залежить від температури навколишнього середовища, що дозволяє його використання на відкритому повітрі в будь-яку пору року.

Випробування проводилися за схемою однопролітної вільно обпертої балки, навантаженої двома силами. Розрахунковий проліт балок становив 2000 мм, а зона чистого згину 600 мм. Випробування проводилися на дію короточасних навантажень на пресах лабораторії кафедри ЗБ і КК та ОМ Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Під час проведення експериментальних досліджень напружено-деформованого стану зразків на дію згинального моменту відмічалися характерні особливості розподілення деформацій по висоті перерізу,

а також інтенсивність зростання прогинів та характер руйнування. Відносні поздовжні деформації із метою виключення зусиль зсуву вимірювалися в зоні чистого згину за допомогою електротензорезисторів (рис. 2). Відліки по електротензорезисторах

знімалися за допомогою приладу "ВНП-8". Вертикальні переміщення згинальних зразків у процесі навантаження фіксувалися за допомогою прогиноміра ПАО-6, який установлювався по середині прольоту.



Рис. 1. Технологія влаштування клейового з'єднання зразка Б3

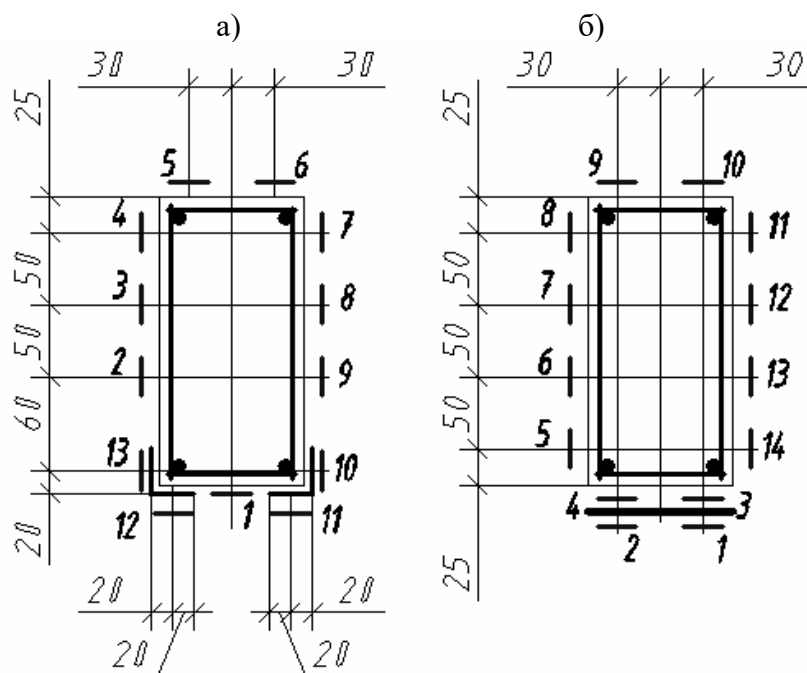


Рис. 2. Схеми розміщення електротензорезисторів: а) зразок Б2; б) зразок Б3

Згідно прийнятій методиці проведення експериментальних досліджень несучої

здатності і деформативності підсилених залізобетонних балок вимірювання

деформацій проводились в зоні чистого згину з метою виключення впливу зусиль зрізу. В ході проведення досліджень напружено-деформованого стану нормальних перерізів експериментальних зразків під дією навантаження відмічались характерні особливості розподілу деформацій по висоті перерізу і довжині елементів, а також інтенсивність росту прогинів.

В результаті вимірювання деформацій досліджуваних залізобетонних балок отримані графіки залежності деформацій від навантаження (рис. 3).

Порівнюючи результати дослідження зразків з використанням підсилення та без нього, можна говорити про можливість

застосування акрилових клеїв для приєднання зовнішнього листового чи профільованого армування для збільшення площі поперечного перерізу небезпечної зони. Як видно із наведених графіків бетон із приклеєним сталевим підсиленням працювали сумісно на всіх стадіях завантаження аж до повного руйнування, яке відбувалось в момент пружної роботи сталі. При цьому спостерігається значне зменшення деформативності конструкцій, в яких використовувалося підсилення кутиками, тобто відносні деформації та прогин в залежності від навантаження зменшувалися приблизно на 40% при тому, що несуча здатність, як видно із табл. 1 збільшилася на 40%.

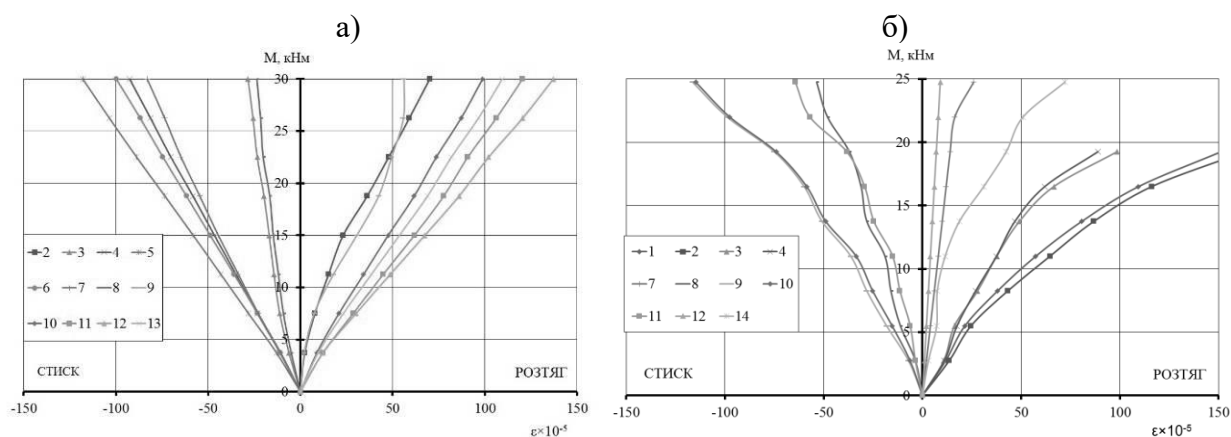


Рис. 3. Залежність відносних деформацій від навантаження нормального перерізу: а) зразка Б2; б) зразка Б3

У випадку використання епоксидного клею несуча здатність зразка зросла ще на 3% однак максимальний прогин був значно

більшим, що можна пояснити руйнуванням зразка (рис. 4) в позакритичній стадії роботи матеріалів.

Таблиця 1

Несуча здатність згинальних елементів по нормальному перерізу

№ п/п	Зразок	Згинальний момент, кНм	Прогин, мм	Приріст несучої здатності, %	Зниження деформативності, %
1	Б1	17,9	10,0	-	-
2	Б2	27,5	8,5	35	15
3	Б3	30,0	6,0	40	40

Підсилення листовою сталлю показало нижчі результати (збільшення несучої здатності на 35%, зниження прогину на 15%), що можна пояснити меншою площею поперечного перерізу листа порівняно з кутиками.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Як і очікувалося, клейове з'єднання виявилось ефективним та надійним, про що свідчить його безвідмовна робота до повного руйнування, яке відбувалось після втрати зв'язку між

бетоном і сталлю (по бетону). Отже, для забезпечення сумісної роботи бетону й сталі в процесі підсилення залізобетонних конструкцій раціональніше використовувати акрилові клеї, уникаючи використання анкерних засобів, закладних деталей та обойм.



Рис. 4. Зразки після руйнування: а) Б1; б) Б2; в) Б3

Список використаних джерел

1. Золотов, М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування [Текст] / М.С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.
2. Лапенко, О.І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою [Текст] / О. І. Лапенко – Полтава: АСМІ, 2009. – 360 с.
3. Стороженко, Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
4. Стороженко, Л.І. Конструкції зі сталевих двотаврів із боковими порожнинами заповненими бетоном [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Сб. науч. трудов “Современные строительные конструкции из металла и древесины”. – №14, ч. 2. – Одесса: ОГАСА, 2010. – С. 150–155.
5. Namdeo Adkuji Hedaoo Design of composite slabs with profiled steel decking: a comparison between experimental and analytical studies [Текст] / Namdeo Adkuji Hedaoo // International Journal of Advanced Structural Engineering. – 2012. – № 3. – P. 118–133.
6. Nathan, de Wit A Composite Structural Steel and Prestressed Concrete Beam for Building Floor Systems [Текст] / Nathan deWit – Lincoln: University of Nebraska, 2012. – 112 p.
7. Raed, El Sarraf Steel-concrete composite bridge design guide [Текст] / Raed El Sarraf and other. – Wellington: NZ Transport Agency, 2013. – 252 p.
8. Uy B. Modern design, construction and maintenance of composite steelconcrete structures: Australian experiences [Текст] / Uy B. // 1st International Conference on Modern Design, Construction and Maintenance of Structures – Hanoi, 2007. – P. 151–158.
9. Zolotov, S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements [Текст] / Zolotov S. // Science, Education and Society II International Scientific Conference University of Zilina. – Zilina, 2003. – Part I. – P. 319–322.

Стороженко Леонід Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Давиденко Юрій Олександрович, к-т техн. наук, доцент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Горб Олександр Григорович, асистент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Тел.: (0532) 56-20-90. E-mail: alexgor@football.ua.

Горб Олеся Олександрівна, інженер-будівельник, приватний спеціаліст. E-mail: legorta@yandex.ua.

Storogenko Leonid Ivanovich, d-r of techn. sciences, prof. at the chair of "Metal, Timber and Plastic Structures", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Davydenko Yuri Oleksandrovich, ph. doct. of techn. sciences, docent at the chair of "Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk.

Gorb Olexandr Grigorovich, assistant at the chair of "Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk", Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Tel.: (0532) 56-20-90. E-mail: alexgor@football.ua.

Gorb Olesya Oleksandrivna, civil engineer, freelancer. E-mail: legorta@yandex.ua.

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 625.143

АНАЛІЗ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ СКРІПЛЕННЯ ТИПУ КППТ-7.

Д-р техн. наук О.М. Даренський, зав. навч. лабор. Е.А. Бєліков

АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ СКРЕПЛЕНИЯ ТИПА КППТ-7(ТРЕП).

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, зав. учебн. лабор. Э.А. Беликов

ANALYSIS OF VERTICAL SPATIAL RIGIDITY OF THE BONDING TYPE КППТ-7(TREP).

DSc A.N. Darenskiy , Head of the Learning Lab E.A. Byelikov

У статті розглянуто основні навантаження діючі на скріплення типу КППТ-7 (ТРЕП) у вертикальній площині. Складені математичні схеми та цифрові залежності реакцій елементів скріплення. Базові математичні викладки є подовженням просторової моделі взаємодії сил діючих на верхню будову колії розробленої професором О.М.Даренським для умов залізниць незагального користування. Передбачена можливість розраховувати вертикальну просторову жорсткість.

Ключові слова: просторова жорсткість опори, вертикальна жорсткість, вертикальне навантаження, пружна деформація, жорсткість проміжного скріплення, жорсткість системи шпала – баласт, модуль пружності підрейкової основи, жорсткість пружинної клеми, жорсткість прокладки, деформація стиску прокладки, пружний опір прокладки.

В статье рассмотрены основные нагрузки, действующие на скрепление типа КППТ-7 (ТРЕП) в вертикальной плоскости. Составлены математические схемы и цифровые зависимости реакций элементов скрепления. Базовые математические выкладки является научным продолжением пространственной модели взаимодействия сил действующих на верхнее строение пути разработанной профессором А.М.Даренским для условий железных дорог необщего пользования. Предусмотрена возможность рассчитывать вертикальную пространственную жесткость.

Ключевые слова: пространственная жесткость опоры, вертикальная жесткость, вертикальные нагрузки, упругие деформации, жесткости промежуточного скрепления, жесткости системы шпала - балласт, модули упругости подрельсового основания, жесткость пружинной клеммы, жесткость прокладки, деформация сжатия прокладки, упругое сопротивление прокладки.

The article describes the main loads acting on the bond type КППТ-7 (TRAP) in the vertical plane. Composed of mathematical schemes and digital dependence of the reactions of the fastening elements. Basic mathematics is a scientific continuation of the spatial model of interaction of forces acting on the superstructure developed by Dr. A. M. Darensky conditions for Railways uncommon. Provides the ability to calculate the vertical spatial rigidity.

Keywords: *spatial support stiffness, vertical stiffness, vertical load, the elastic deformation, the hardness of the intermediate bonding, system rigidity sleeper - ballast, moduli of elasticity of the rail base, the rigidity of the spring terminals, the rigidity of the strip, the deformation of gasket compression, elastic resistance strip.*

Вступ. Промислові залізниці мають ряд істотних особливостей: великі осьові навантаження (до 500-600 кН); в наслідок цього експлуатація та утримання колії промислових залізниць значно відрізняються від магістральних колій загального користування. З аналізу елементів і конструкцій верхньої будови колії, слід зробити висновок, що найбільш проблемним є вузли прикріплення рейок до залізобетонних шпал. На цей час практично єдиним типом проміжних скріплень в таких умовах є скріплення КБ. Цей тип скріплення має суттєві недоліки перш за все наявність чотирьох різьбових сполучень в кожному вузлі шпали, значну металоємкість, неможливість зміни ширини колії в кривих та колійних відводах ширини колії при її нормативній зміні.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Аналіз даних про дослідну експлуатацію перспективних проміжних скріплень для залізобетонних шпал в умовах магістральних залізниць показав, що для умов промислового транспорту перспективним є проміжне скріплення типів КППТ-7(ТРЕП) та КППТ-17(ТРЕП-Ш). Перевагами цих типів скріплень для умов промислових залізниць є наступні: відсутність різьбових сполучень та менша кількість елементів; ці типи скріплень використовуються при однаковій конструкції залізобетонних шпал; скріплення КППТ-7 є без підкладочним, скріплення КППТ-17 є підкладочним та анкерним. Елементи скріплення виготовлені ЗАТ "Трансроуд Груп", м. Київ.

Одним з головних питань, які виникають при визначенні можливих сфер застосування цього скріплення є його вплив

на сили взаємодії колії і рухомого складу. Але чисельний аналіз сил взаємодії не можливий без математичного моделювання роботи скріплення КППТ-7 (ТРЕП) під дією просторових, в першу чергу вертикальних сил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у вирішення питань взаємодії рухомого складу та колії належить науковим школам які сформували професор Ангелейко В.І. [1], професор Даниленко Э.И. [9], професор В.В. Рибкін [11], академік В.А. Лазарян [4] та професор М.А. Фрішман [3], професора М.Ф. Веріго[2], професора С.П.Першина [8], професора Яковлева В.Ф.[7], професор Коган А.Я[5,6],

Слід відзначити, що в цих дослідженнях використовувалася загальна розрахункова схема колії у вигляді балки на суцільній пружній основі. Ця схема передбачає постійність пружних дисипативних характеристик підрейкової основи. Однак аналіз, зроблений у роботі [13] показав, що така схема для умов промислового транспорту надмірно ідеалізує колію та її технічний стан.

О.М.Даренський в своїх роботах [10,12,13] розробив моделі та методи досліджень сил взаємодії рухомого складу і колії, а також розрахунків напружено-деформованого стану залізничної колії зі застосуванням просторової розрахункової схеми колії у вигляді балок-рейок, які сприяють на пружно дисипативні опори-шпали з нелінійними характеристиками.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою статті є знаходження математичної залежності щодо розрахунків вертикальної просторової жорсткості скріплення типу КППТ-7 (ТРЕП) та теоретичні дослідження формування

просторової жорсткості рейкових опор при застосуванні проміжних скріплень КППТ-7. Визначення переліку параметрів жорсткості пружних елементів цих скріплень, які необхідно отримати експериментально.

Основна частина дослідження. Вертикальна жорсткість скріплень типу КППТ-7 :

$$C_z = \frac{R_{z2} - R_{z1}}{Z_2 - Z_1} \left(\frac{H}{M} \right), \quad (1)$$

де R_{z2}, R_{z1} – значення вертикальних навантажень на опору, (Н);

z_2, z_1 – пружні деформації опори в вертикальному напрямках при навантаженнях відповідно R_2 і R_1 (М), залежать $z = f(p)$ набувають характеру, близького до лінійного.

Вертикальну жорсткість опори однієї рейкової нитки і з урахуванням характеру її роботи, можна записати:

$$C_z = \frac{C_{zск} \cdot 0,5 C_{zш}}{C_{zск} + C_{zш}} \left(\frac{H}{M} \right), \quad (2)$$

де $C_{zск}$ – жорсткості проміжного скріплення в вертикальному напрямках;

$C_{zш}$ – жорсткості системи шпала - баласт.

Розглянемо далі роботу скріплення під дією монтажних сил та вертикального навантаження.

При монтажі вузла скріплення КППТ-7 відбувається початкова вертикальна

деформація пружинної клеми $z_{кл}^{нач}$ (рис. 1). При цьому кожна клема притискає підшву

рейки до шпали із силою $Q_{кл}^{нач}$:

$$Q_{кл}^{нач} = z_{кл}^{нач} \cdot \mathcal{E}_{кл}, \quad (3)$$

де $\mathcal{E}_{кл}$ – жорсткість пружинної клеми при вертикальних деформаціях, (кН/м).

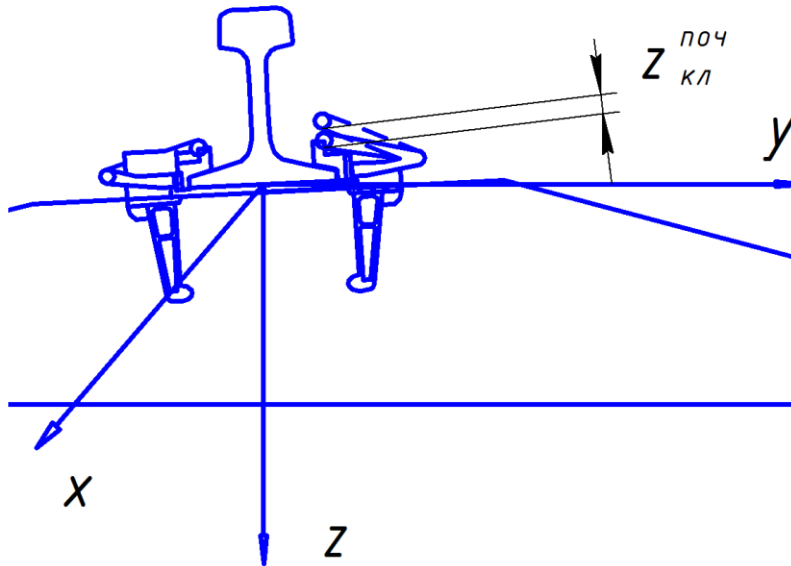


Рис.1. Початкова вертикальна деформація пружинної клеми скріплення КППТ-7

Під дією сил клемного натискання $2Q_{кл}^{нач}$ підрейкова прокладка стискається та утворює пружний опір цьому стиску силою $Q_{пр}$:

$$Q_{пр}^M = u_{пр}^{cm} \cdot z_{пр}^M \quad (4)$$

де $u_{пр}^{cm}$ – жорсткість прокладки при статичному стиску, (кН/м);

$z_{пр}^M$ – деформація стиску прокладки при монтажі, (м).

Силу $Q_{пр}^M$ можна представити (рис.2) у вигляді розподіленого пружного опору

стиску з інтенсивністю $q_{пр}^M$:

$$q_{пр}^M = \frac{Q_{пр}^M}{b}, \quad (5)$$

де b – ширина підшви рейки, (м).

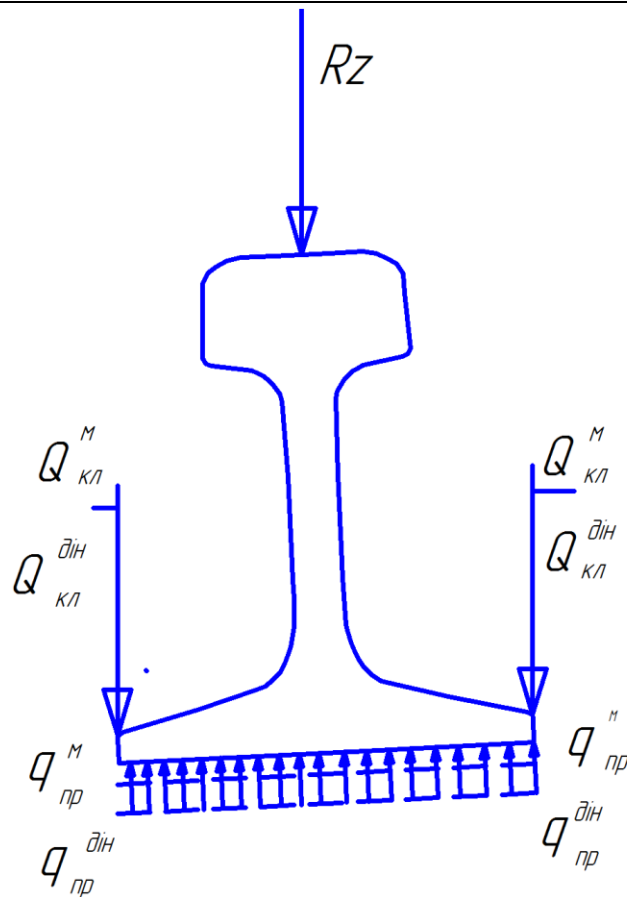


Рис.2 Розрахункова схема для визначення вертикальної жорсткості скріплення КПШТ-7.

При стисненні підрейкової прокладки на величину $z_{пр}^M$ відбувається зворотна пружна деформація пружинних клем, у результаті цього зменшується сила клемного натискання. Залишкова монтажна сила клемного натискання буде рівна:

$$Q_{кл}^M = (z_{кл}^{нач} - z_{пр}^M) \cdot \mathcal{J}_{кл}, \quad (6)$$

Рівновага сил у вузлі скріплення настане тоді, коли залишкові монтажні сили клемного натискання будуть дорівнюють пружному опору прокладки:

$$2Q_{кл}^M = Q_{кл}^M = q_{кл}^M \cdot v, \quad (7)$$

Підставимо у формулу (6) рівняння (4) і (5):

$$2(z_{кл}^{нач} - z_{пр}^M) \cdot \mathcal{J}_{кл} = z_{пр}^M \cdot u_{пр}^{ст}, \quad (8)$$

При дії на вузол скріплення вертикальної динамічної сили R_z , умову рівноваги сил (рис. 1) можна записати як:

$$R_z = Q_{пр}^{дин} - 2Q_{кл}^{дин}, \quad (9)$$

де $Q_{пр}^{дин}$ – сила опору прокладки стиску динамічним навантаженням і натисканню клемою, (кН);

$Q_{кл}^{дин}$ – сила клемного натискання при дії на вузол скріплення динамічного навантаження R_z , (кН).

Величина $Q_{пр}^{дин}$ буде дорівнювати:

$$Q_{пр}^{дин} = z_{пр}^M \cdot u_{пр}^{ст} + \Delta z_{пр}^{дин} \cdot u_{пр}^{дин}, \quad (10)$$

де $\Delta z_{пр}^{дин}$ – додатково динамічний стиск прокладки під дією сили R_z , (м);

$u_{пр}^{дин}$ – жорсткість підрейкової прокладки при динамічному стисканні, (кН/м).

Сила клемного натискання при дії вертикального динамічного навантаження R_z зменшиться за рахунок зворотної пружної деформації клемою на величину Δz :

$$Q_{кл}^{дин} = (z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{J}_{кл} - \Delta z \mathcal{J}_{кл}, \quad (11)$$

Тоді формулу (9) можна представити у вигляді:

$$R_z = \Delta z u_{пр}^{дин} + z_{пр}^м \cdot u_{пр}^{ст} - 2(z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{J}_{кл} + 2\Delta z \mathcal{J}_{кл}, \quad (12)$$

Заміняючи в цій формулі $2(z_{кл}^{нач} - z_{пр}^м) \cdot \mathcal{J}_{кл}$ на $z_{пр}^м \cdot u_{пр}^{ст}$ з виразу (8), отримаємо:

$$R_z = \Delta z (u_{пр}^{дин} - 2\mathcal{J}_{кл}), \quad (13)$$

Або переходячи до вертикальної жорсткості вузла скріплення КППТ-7

$$C_{зск} = \frac{R_z}{\Delta z}$$

остаточно отримаємо:

$$C_{зск} = u_{пр}^{дин} - 2\mathcal{J}_{кл}, \quad (14)$$

Розраховану математичну залежність потрібно підтвердити експериментально.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином складена математична залежність розрахунку вертикальної жорсткості вузла скріплення КППТ-7(ТРЕП), яка залежить від жорсткості підрейкової прокладки при динамічному стисканні (кН/м) та жорсткості пружинної клеми при вертикальних деформаціях (кН/м).

Список використаних джерел

1. Ангелейко В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст]/ монография / В.И. Ангелейко. // Харьков : ХИИТ, 1958.- 38 с.
2. Вериго М.Ф. Вертикальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго // Труды ВНИИЖТ.- М.: Трансжелдориздат.- 1955.- №97.-С. 25-288.
3. Фришман М.А. Экспериментальные определения жесткостей и неупругих сопротивлений пути [Текст] / М.А. Фришман, Л.Я. Воробейчик, Р.С. Липовской // Вестник ЦНИИ МПС. - 1970.- № 8. -С. 31- 35.
4. Лазарян В.А. Изгибные колебания кузова полувагона в вертикальной и горизонтальной плоскостях [Текст] / В.А. Лазарян, В.Ф. Ушаков // Труды ДИИТ. – 1967.- №68. –С.32-38.
5. Коган А.Я. Вертикальные динамические силы, действующие на путь [Текст] / А.Я. Коган // Труды ЦИИТ МПС. - М.:Транспорт.-1969.-206 с.
6. Расчеты железнодорожного пути на вертикальную динамическую нагрузку [Текст]/ под ред. А.Я. Когана.// Труды ВНИИЖТ.-1973.-№502.-80 с.
7. Яковлев В. Ф. Определение расчетных параметров пути в вертикальной и горизонтальной плоскостях с помощью вибромашины [Текст] / В.Ф. Яковлев, И. И. Семенов, В. И. Абросимов // Труды ЛИИЖТа,- Л.: ЛИИЖТ.- 1971.- выпуск 326.-С. 66- 85.
8. Першин С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство.-1996.-№8.-С.8-10.
9. Даніленко Е.І. Сучасні рейкові пружні скріплення і особливості вимог до вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Залізничний транспорт України. – 2002.- № 6. –С. 3-12.
10. Даренский А.Н. Результаты лабораторных испытаний скрепления типа КБ [Текст] / А. Н. Даренский // ЦНИИТЭИ МПС. - 1983. № 2145. –С. 11.
11. Рибкін В.В. Теоретичні дослідження впливу пружності проміжних рейкових скріплень на деформативну роботу колії [Текст] / В.В. Рибкін, М. Д. Костюк, Н.П. Настечик, М.П. Сисин // Тези LXVI Міжнародної науково – практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”, Дніпропетровськ – 2006.- № 1. –С. 188.

12. Даренський О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 115. – С. 151-162.

13. Даренський О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту: монографія / О.М. Даренський, // Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел 19-89,10-59.

Беліков Едуард Анатолійович, старший викладач, завідувач навчальною лабораторією секції кафедри колія та колійне господарство Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 10-60, 22-10.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, dr. of tech. sciences, professor of the department «Road and trak acilities» Ukrainian State Academy of Railway Transport. (19-89,10-59).

Byelikov Eduard Anatolyevich, senior lecturer, head of school laboratory section of the Department «Road and trak acilities» Ukrainian State Academy of Railway Transport. (10-60, 22-10).

Стаття прийнята 20.03.2015 р

УДК 624.971.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ ТРУБА – ФУНДАМЕНТ – ОСНОВАНИЕ»

Канд. техн. наук О.В. Кичаева, асп. Е.А. Перепелица

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ «ВЕНТИЛЯЦІЙНА ТРУБА - ФУНДАМЕНТ - ОСНОВА»

Канд. техн. наук О.В. Кічаєва, асп. К.О. Перепелица

MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE SYSTEM "VENT TUBE - FOUNDATIONS - BASIS"

PhD O.V. Kichaeva, Postgraduate E.A. Perepelitsa

В статье проведено исследование совместной работы вентиляционной трубы с грунтовым основанием. Рассмотрены различные варианты конечно-элементного моделирования системы «вентиляционная труба – фундамент – сооружение» и выполнено сопоставление результатов расчета с данными натурных исследований и исполнительной геодезической съемки. Показано, что наиболее адекватным моделированием грунтовых условий является его представление в виде объемных физически нелинейных конечных элементов.

Ключевые слова: *вентиляционная труба, совместная работа, конечно-элементное моделирование.*

У статті проведено дослідження спільної роботи вентиляційної труби з ґрунтовою основою. Розглянуто різні варіанти скінчено-елементного моделювання системи «вентиляційна труба - фундамент - споруда» і виконано порівняння результатів розрахунку з даними натурних досліджень та виконавчої геодезичної зйомки. Показано, що найбільш адекватним моделюванням ґрунтових умов є його представлення у вигляді об'ємних фізично нелінійних скінчених елементів.

Ключові слова: *вентиляційна труба, спільна робота, скінчено-елементне моделювання.*

In this paper, a study of teamwork ventilation pipe with a soil base. Three variants of the simulation system "vent tube - foundation - base": 1) modeling of a multilayer substrate and determination of the coefficients bed C1, C2 according to the geological survey; 2) the creation and connection of a three-dimensional volume of the soil mass finite element calculation in the linear formulation; 3) the creation and connection of a three-dimensional volume of the soil mass physically nonlinear finite element simulation of the unilateral operation of soil compression in view of the shift. The calculation is performed in the nonlinear formulation. The criteria for comparing the results of the numerical modeling field studies and made two parameters: the foundation of the bank and the Bank of stem vent pipe.

Comparison of numerical models with results of geodetic observations showed that all models have a sufficient degree of certainty. The discrepancy in the results between the surveying and studied model was: Compared with the model 1 – 4,3% in comparison with the model 2 – 11,1% in comparison with the model 3 – 0,9% .Thus, the most adequate modeling of groundwater conditions is its representation a volume physically nonlinear finite element-cops.

Keywords: ventilation tube, joint work, finite element modeling.

Введение. При расчете и проектировании высотных башенных сооружений, таких, как стволы дымовых и вентиляционных железобетонных труб, возникает необходимость учета взаимодействия системы «венттруба – фундамент – основание» как фактора, существенно влияющего на напряженно-деформированное состояние конструкции трубы.

Решение такой задачи требует создания корректных расчетных моделей, которые учитывают большинство основных факторов, влияющих на взаимодействие грунтового основания, фундамента и ствола вентиляционной трубы, и наиболее полно отражают действительную работу системы.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Согласно указаниям по расчету железобетонных дымовых труб [1, 2] расчет сечений ствола производится по деформированной схеме с учетом влияния перемещений трубы от ветра и крена фундамента. Методика определения крена фундамента, нагруженного эксцентрично, приведена в [3]. Однако часто причиной крена фундамента является неравномерность осадок его основания. Крен фундамента в таком случае следует определять с помощью геодезической съемки.

Построение расчетных моделей, отражающих работу системы, позволяет выполнять точные проектировочные и проверочные расчеты стволов дымовых и

вентиляционных труб, давать оценку несущей способности и надежности конструкций, прогнозировать работу сооружений в ходе эксплуатации.

Одним из современных, широко используемых численных методов, является метод конечных элементов (МКЭ).

Исследование проведено в виде численного эксперимента в ПК ЛИРА, версия 9.6, рассмотрены расчетные модели различной степени точности и сложности.

Анализ последних исследований и публикаций.

Методики расчетов самых разнообразных эксплуатируемых сооружений, находящихся в сложных инженерно-геологических условиях и находящихся на разных стадиях жизненного цикла, постоянно совершенствуются. Вопросами моделирования работы строительных конструкций и формирования корректных расчетных моделей занимались такие исследователи, как В.А. Банах [4], Л. Г. Батрак, А. С. Городецкий, Е. В. Горохов, А. А. Дыховичный, И. Д. Евзеров, Н.Л. Зоценко [5], С. Ф. Клованич, В. Комков, Е. З. Криксунов, В. В. Кулябко, А. В. Перельмутер [6], В. И. Сливкер, Е. Б. Стрелец-Стрелецкий, R. L. Taylor, O. C. Zienkiewicz и многие другие исследователи [7 – 10].

Определение цели и задачи исследования.

Целью исследования является разработка подходов к формированию расчетных моделей системы «венттруба –

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

фундамент – основание». Для ее достижения были поставлены следующие задачи:

1. Создание конечно-элементных моделей для анализа взаимодействия системы «венттруба – фундамент – основание».

2. Выполнение сравнения результатов, полученных при различных подходах численного моделирования.

3. Сопоставления результатов расчета с данными исполнительной геодезической съемки, а также результатов ручного счета по методике ДБН. Анализ достоверности решений, полученных в результате численного моделирования.

Основная часть исследования. Ствол вентиляционной железобетонной трубы имеет коническую форму с переменным уклоном. Толщина стенки трубы изменяется от 350 мм у основания до 180 мм на отм. 97,500 м и вновь возрастает до 300 мм на отм. 100,000 (рис. 1). Бетон ствола принят класса С18/22,5 (марка М300).

На отм. 15,000 предусмотрен проем 6,6 ? 3,2 м для устройства подводящего воздухоотвода.

Фундамент запроектирован железобетонным из бетона класса С18/22,5 (марка М300). Конструктивно фундамент включает стакан в виде полого усеченного конуса и круглую в плане плиту диаметром

16 м, толщиной 1,3 м. Внутренний диаметр стакана 9,5 м, высота стенки равна 3,7 м. Толщина стенки стакана у основания 1,2 м, а у верхнего обреза 0,43 м. Общая высота фундамента – 5 м (абсолютная отметка подошвы фундамента 99 м).

Площадка строительства вентиляционной трубы спланирована до абсолютной отметки 104 м.

Инженерно-геологический разрез площадки строительства сооружения вентиляционной трубы приведен на рис. 2. Характеристики грунтов основания приведены в табл. 1.

В результате проведения исполнительной геодезической съемки и измерения крена вентиляционной трубы установлено, что значение крена составляет $117/100000=0,00117$, где 117 мм – горизонтальное перемещение верхнего обреза ствола, 100000 мм – высота ствола вентиляционной трубы.

Геодезические измерения отклонения ствола, согласно указаниям по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб [11,12], производятся в безветренную пасмурную погоду, чтобы исключить влияние на результаты солнечной радиации и ветрового давления.

Таблица 1.

Характеристики грунтов основания

№ ИГЭ	Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)	Характеристики		
		φп, град	сп, кПа	Е, МПа
1	Насыпной слой - суглинки и глины плотные			
5	Суглинки	19	26	11
6	Глины	19	36	23
7	Глины сарматского яруса	22	34	18
11	Элювиальные грунты, продукты выветривания гранитов – дресва	28	25	13

Рассмотрено три варианта моделирования работы системы «ствол – фундамент – основание»:

1. Моделирование многослойного основания и определение коэффициентов постели С1, С2 по данным геологических изысканий;

2. Создание и подключение трехмерного грунтового массива из объемных конечных элементов с расчетом в линейной постановке;

3. Создание и подключение трехмерного грунтового массива из объемных физически нелинейных конечных элементов для моделирования

односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига. Расчет выполняется в нелинейной постановке.

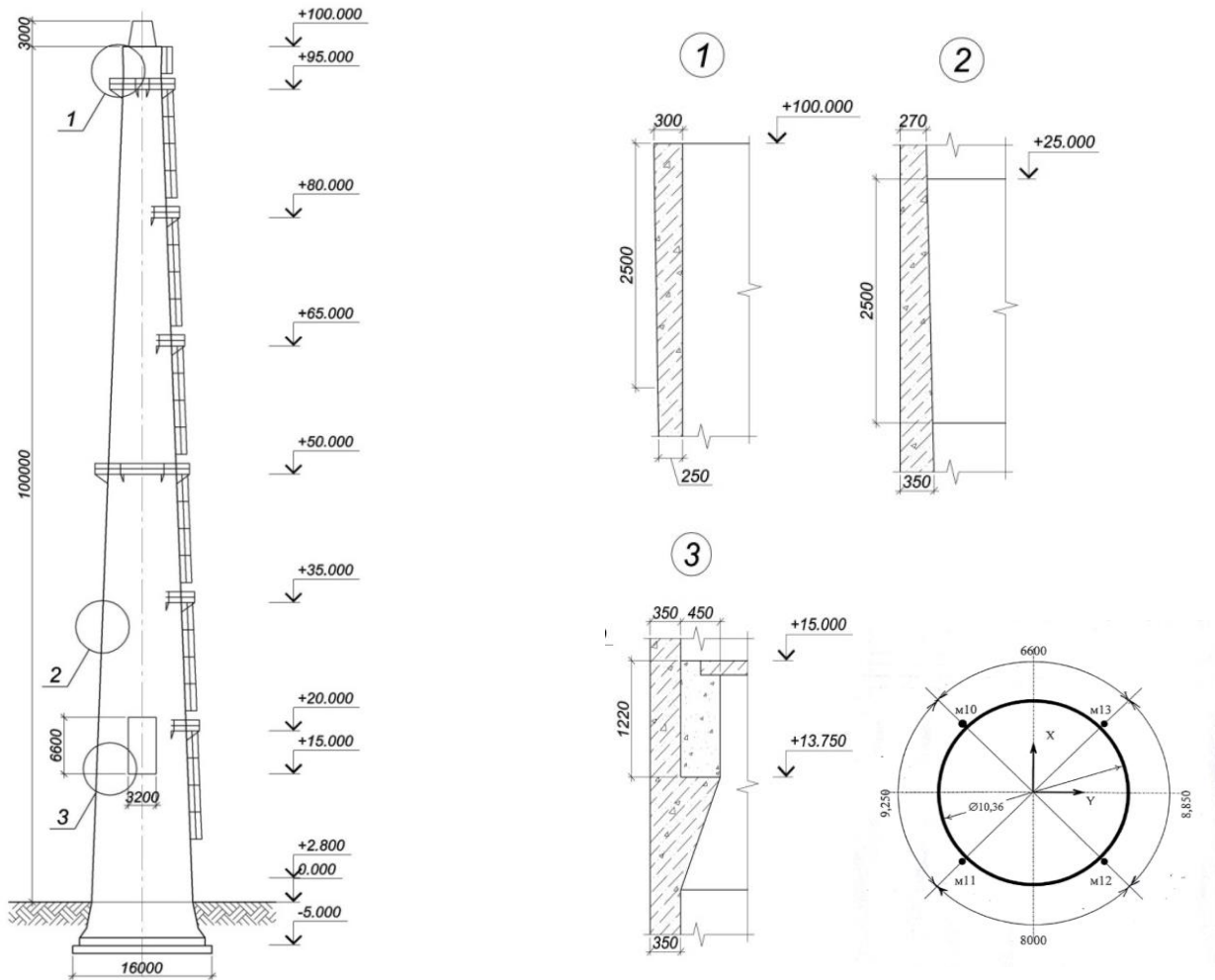


Рис. 1. Конструктивная схема сооружения вентиляционной трубы и схема осадочных марок

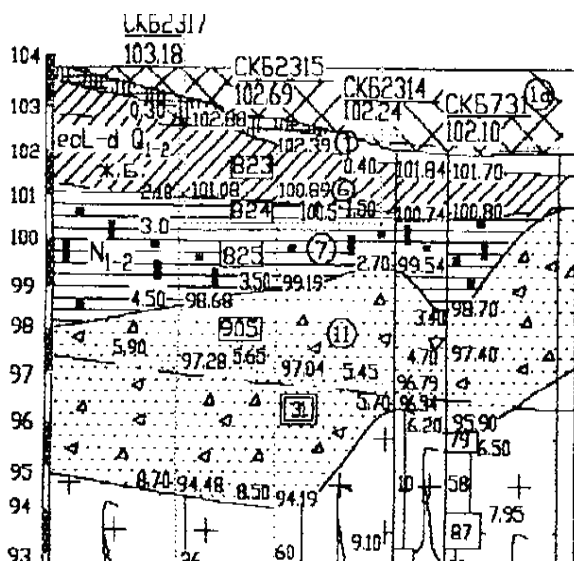


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез площадки строительства сооружения вентиляционной трубы

Условные обозначения

- 1a – Насыпной слой – суглинок тугопластичный
- 1 – Почвенно-растительный слой – суглинки черные и темно-серые, гумусированные, твердой и полутвердой консистенции
- 6 – Глины бурые и краснобурые, карбонатные с гнездами кристаллов гипса
- 7 – Глины зеленовато-серые и серые, с включением карбонатов и гнезд кристаллов гипса
- 11 – Дресва гранита каолинизированная, с пятнами ожелезнения, обводненная, с песком, глиной, каолином 10 – 15%
- 12 – Гранит серый и розовато-серый, мелко-, средне- и крупнозернистый, трещиноватый, средней крепости

Ствол и фундамент железобетонной вентиляционной трубы смоделированы конечными элементами оболочки с соответствующими проектными характеристиками жесткости. Принято, что крен трубы произошел только по причине неравномерной осадки основания.

Ниже приведено описание создания перечисленных расчетных моделей и результаты расчета.

1. Моделирование многослойного основания и определение коэффициентов постели C_1 , C_2 по данным геологических изысканий. Расчетная модель вентиляционной трубы выполнена из пластинчатых конечных элементов (КЭ). Закрепление узлов фундаментной плиты выполнено таким образом, чтобы не

препятствовать вертикальным перемещениям по оси z , а также повороту фундамента в результате крена. Нагрузка задана равномерно распределенной от собственного веса конструкций фундамента и ствола вентиляционной трубы.

Расчетная модель вентиляционной трубы и основания приведена на рис. 3.

Пластинчатым КЭ фундамента назначены коэффициенты постели C_1 , C_2 . Значения коэффициентов постели определяются в соответствии с выбранной моделью грунта, которая создается по данным геологических изысканий. Расчет выполняется в соответствии с [3], с учетом веса грунта выше отметки приложения нагрузки по методу 3 – модифицированный расчет для модели Пастернака.

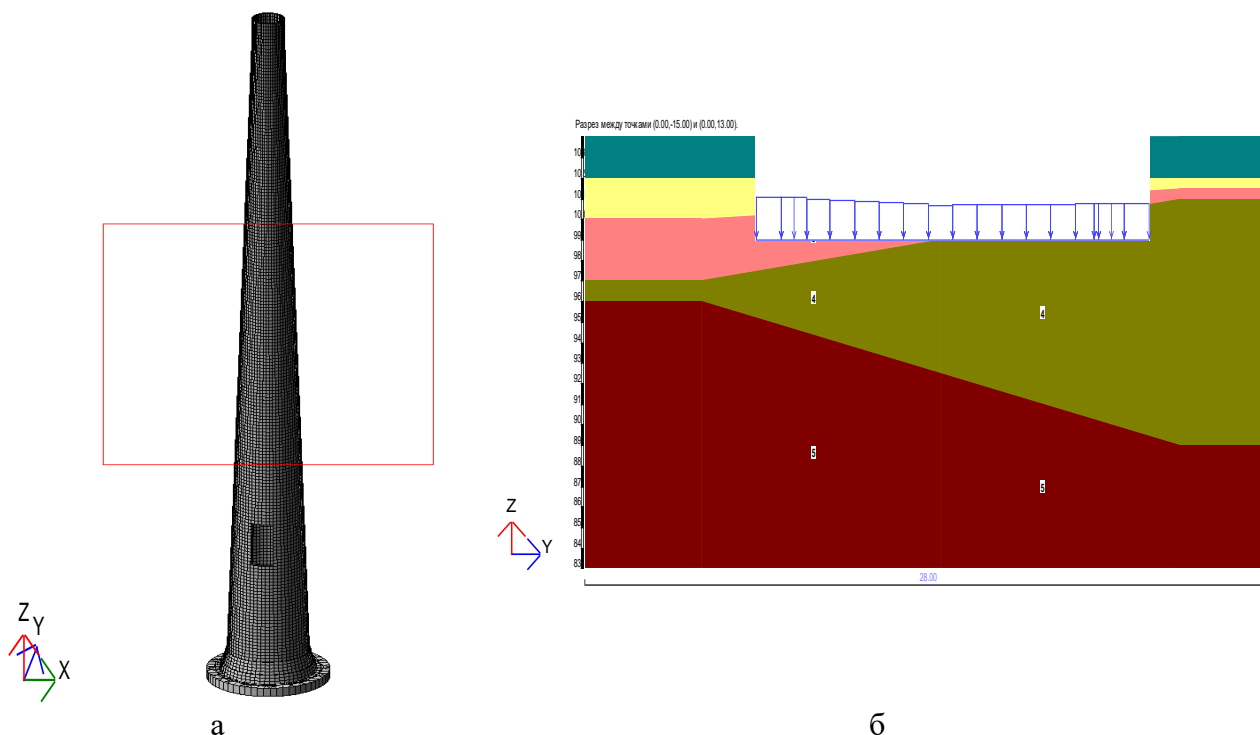


Рис. 3. Расчетная модель вентиляционной трубы и основания:

а – аксонометрическая схема модели ствола вентиляционной трубы, б – инженерно-геологический разрез основания под подошвой фундамента

Коэффициент постели C_1 вычисляется по усредненным значениям модуля деформации и коэффициента Пуассона грунта:

$$C_1 = \frac{E}{H_c (1 - 2\nu^2)} \quad (1)$$

где E – усредненное значение модуля упругости грунта;

H_c – глубина сжимаемой толщи; ν – усредненный коэффициент Пуассона грунта.

Для определения среднего модуля деформации вводится поправочный коэффициент u к величине i -го подслоя.

Этот коэффициент изменяется от $u_1 = 1$ на уровне подошвы фундамента до $u_n = 12$ на уровне уже вычисленной границе сжимаемой толщи. Принято, что коэффициент u изменяется по закону квадратной параболы:

$$u = \frac{11z^2}{H_c^2} + 1 \quad (2)$$

Кроме того, принимается, что дополнительное вертикальное напряжение по глубине распределено равномерно. Тогда

$$E = \frac{H_c}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{u_i E_i}} \quad (3)$$

Коэффициент постели C_2 вычисляется по формуле:

$$C_2 = \frac{C_1 H_c^2 (1 - 2\nu^2)}{6(1 + \nu)} \quad (4)$$

Расчет выполняется методом последовательных приближений. Давление под подошвой фундамента P_z принимается в каждой последующей итерации равным отпору грунта R_z с пересчетом коэффициентов постели C_1 и C_2 до необходимой сходимости результатов.

В соответствии с ИГУ глубина сжимаемой толщи варьируется от $H_c = 8,0$ м до $H_c = 15,0$ м.

Итоговые значения давления под подошвой фундамента P_z и отпора грунта R_z представлены на рис. 4.

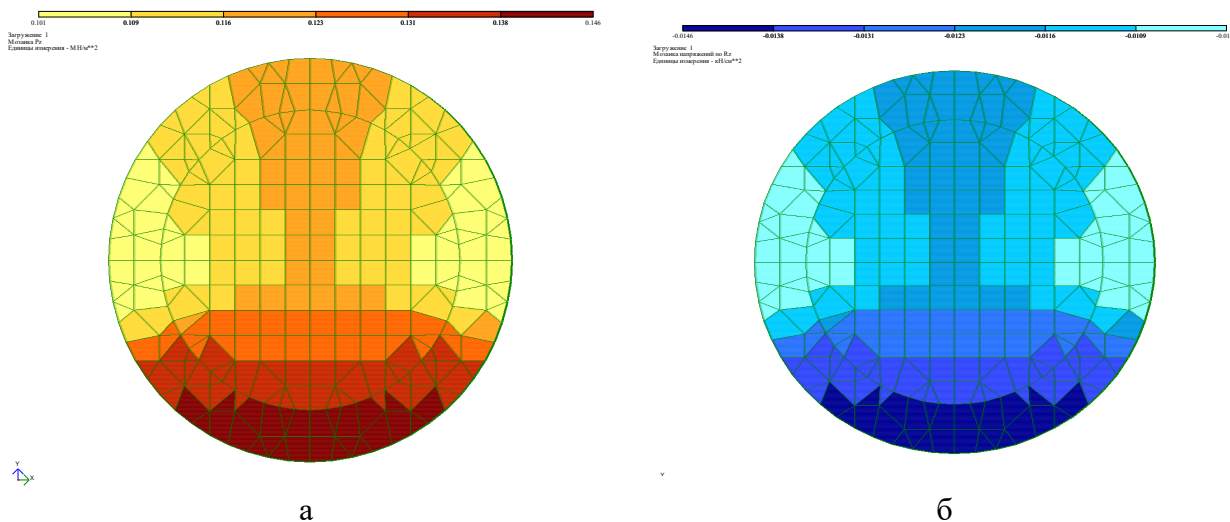


Рис. 4. Результаты расчета задачи взаимодействия фундамента и грунтового основания: а – распределение давления под подошвой фундамента P_z , MN/m^2 ;
б – распределение отпора грунта R_z , kN/cm^2

Полученные значения коэффициентов постели C_1 и C_2 (рис. 5) назначаются элементам фундаментной плиты и в ходе дальнейшего расчета позволяют моделировать совместную работу ствола вентиляционной трубы и основания.

2. Моделирование трехмерного грунтового массива из объемных конечных элементов с расчетом в линейной постановке. Расчетная модель вентиляционной трубы – такая же, как и в предыдущем случае. К расчетной модели

фундамента и ствола вентиляционной трубы подключается трехмерный грунтовый массив, созданный при помощи автоматической триангуляции и назначением физико-механических характеристик конечных элементов в системе Грунт, ПК ЛИРА по данным инженерно-геологических изысканий. Трехмерный грунтовый массив выполнен из объемных КЭ, размеры в плане 46×46 м, высотой – 16 м. Граничные условия заданы таким образом, чтобы вертикальные перемещения по z нижней грани и

перемещения по x и y боковых граней грунтового массива были равны нулю.

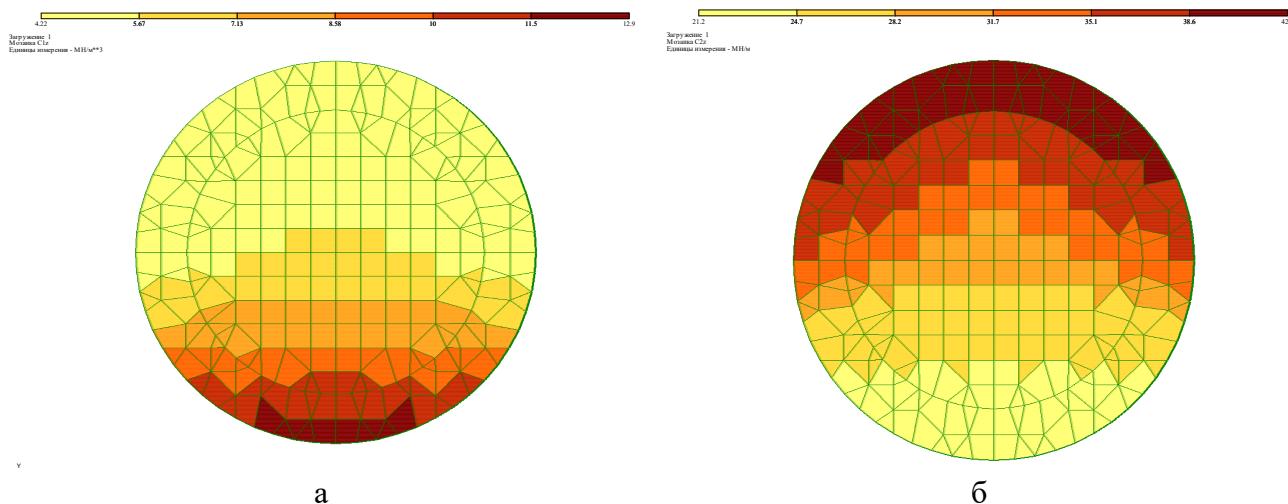


Рис. 5. Результаты расчета коэффициентов постели C_1 (MN/m^3), C_2 (MN/m) по подошве фундамента венттрубы: а – распределение C_1 , б – распределение C_2

Нагрузка принята равномерно распределенной от собственного веса конструкций фундамента и ствола вентилиационной трубы. Расчетная модель венттрубы и трехмерного грунтового массива основания приведена на рис. 6.

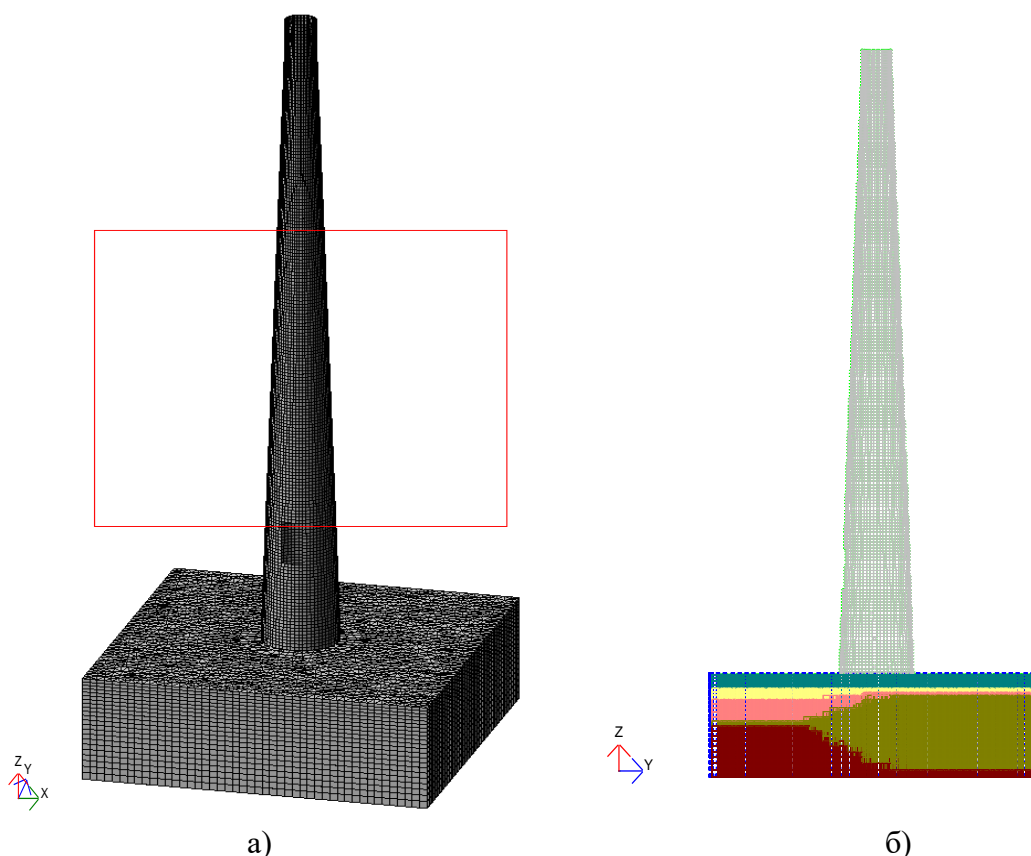


Рис. 6. Расчетная модель вентилиационной трубы и трехмерного грунтового массива основания: а – аксонометрическая схема модели ствола вентилиационной трубы и трехмерного грунтового массива; б – конечно-элементная модель вентилиационной трубы и трехмерного грунтового массива

3. Моделирование трехмерного грунтового массива из объемных физически нелинейных конечных элементов для моделирования односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига. Расчетная модель вентиляционной трубы – та же. К расчетной модели фундамента и ствола вентиляционной трубы подключен трехмерный грунтовой массив, выполненный из объемных физически нелинейных КЭ для моделирования односторонней работы грунта на сжатие с учетом сдвига.

Для объемных КЭ грунта, задаются следующие характеристики: E - модуль

$$\sin(\varphi) \cdot \sigma_0 + \sigma_i (\sqrt{3} \cdot \cos(\psi) + \sin(\psi) \cdot \sin(\varphi)) - 3C \cdot \cos(\varphi) \leq 0 \quad (5)$$

где:

$$\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \quad (6)$$

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; \quad (7)$$

$$\psi = \frac{1}{3} \arcsin\left(\frac{27J_3}{2\sigma_i^3}\right); \quad J_3 = (\sigma_1 - \sigma_0)(\sigma_2 - \sigma_0)(\sigma_3 - \sigma_0). \quad (8-9)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения.

Граничные условия и размеры грунтового массива заданы таким же образом, как и в варианте 2.

Расчет системы «нелинейно-деформируемое основание – линейно-деформируемые конструкции» выполнялся в нелинейной постановке с учетом процесса монтажа и разработки котлована и учетом модуля деформации грунта по ветви вторичного нагружения (учет разгрузки модели грунта) в три стадии:

- стадия 1 – монтаж объемных КЭ массива грунтового основания;

- стадия 2 – демонтаж объемных КЭ грунта котлована, обнуление перемещений от предыдущего нагружения;

- стадия 3 – монтаж КЭ фундамента и ствола вентиляционной трубы, обнуление перемещений от предыдущего нагружения.

Иллюстрация стадий построения конечно-элементной схемы системы приведена на рис. 7.

В результате расчетов, выполненных по трем различным конечно-элементным

деформации грунта по ветви первичного нагружения, ν - коэффициент Пуассона, k_e - коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения $E_e = k_e \cdot E$, C - сцепление, R_i - предельное напряжение при растяжении, φ - угол внутреннего трения в градусах, при этом $\varphi < 90^\circ$, $C \geq R_i \cdot \operatorname{tg}(\varphi)$, σ_p - предельное напряжение сжатия. Таким образом, реализуется упругопластическая модель грунта, критерием прочности которой выбрано условие Кулона-Мора:

моделям, определено напряженно-деформированное состояние системы «венттруба – фундамент – грунтовой массив».

В качестве критериев для сопоставления результатов численного моделирования и натурных исследований приняты параметры: крен фундамента, крен ствола вентиляционной трубы, а также значение средней осадки фундамента. Средняя осадка вычислена согласно Д.11 [3] по формуле, которая базируется на решениях линейно-деформируемого полупространства, и составляет 2,45 см.

Приняты следующие обозначения: модель 1 – модель многослойного основания с коэффициентами постели C_1, C_2 ; модель 2 – трехмерный грунтовой массив из объемных КЭ; модель 3 – трехмерный грунтовой массив из физически нелинейных объемных КЭ.

Изополя вертикальных перемещений фундаментной плиты для различных расчетных моделей приведены на рис. 8.

Результаты расчета крена фундамента представлены в табл. 2.

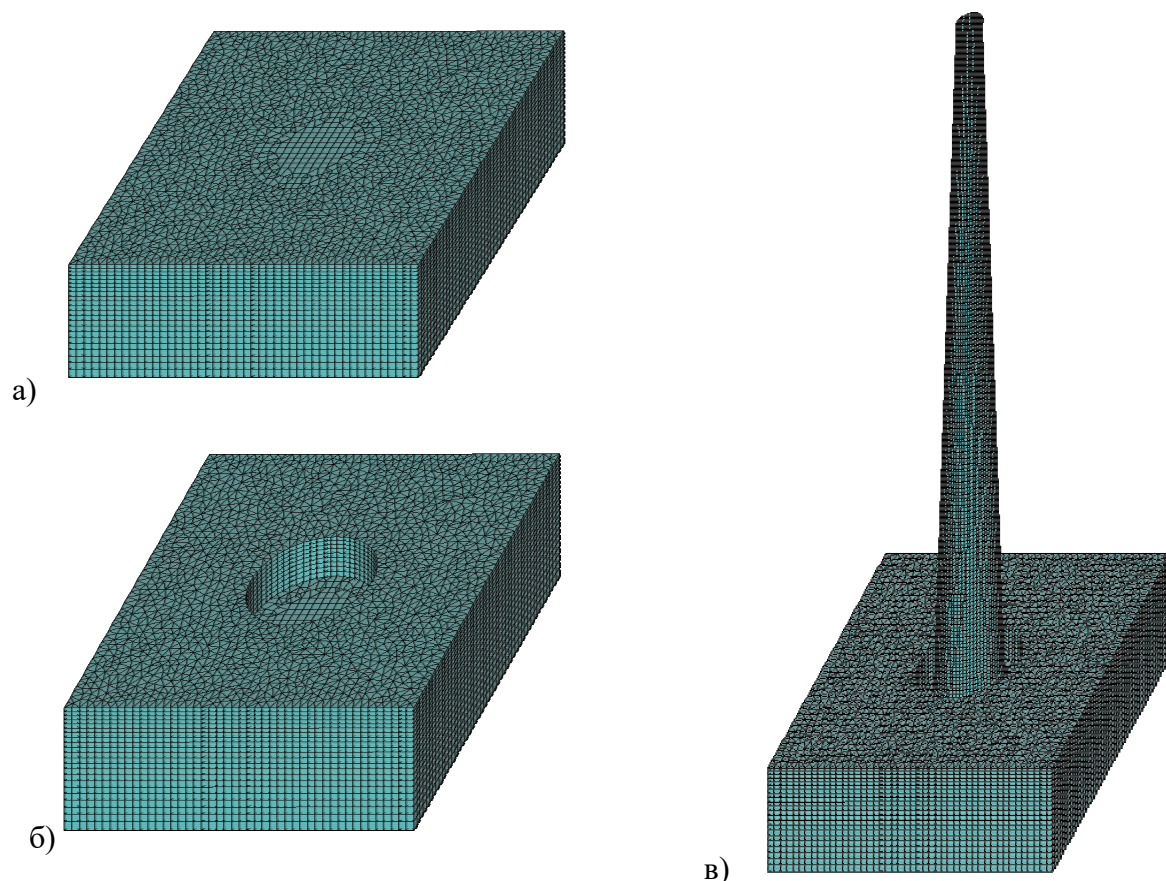


Рис. 7. Аксонометрические схемы стадий монтажа элементов модели
а – стадия 1; б – стадия 2; в – стадия 3

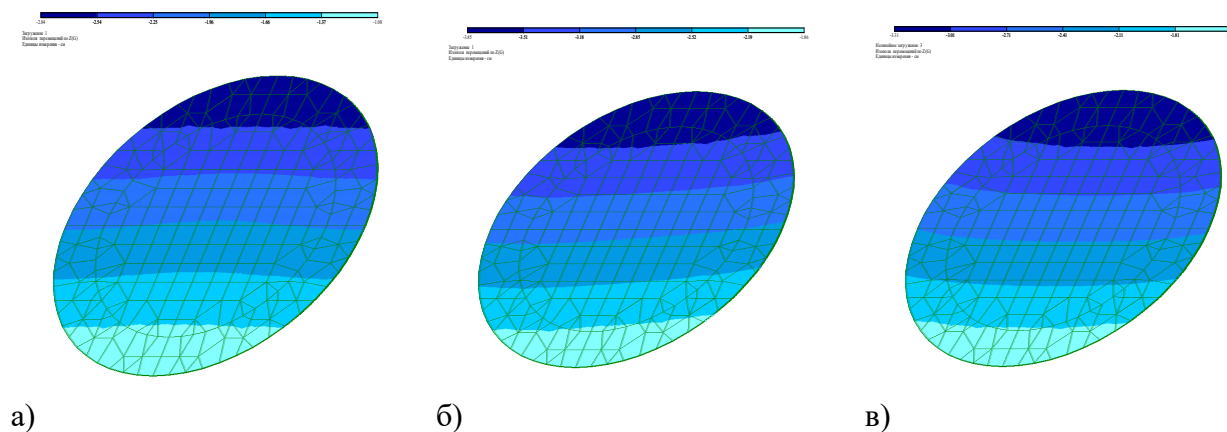


Рис. 8. Изополя вертикальных перемещений: а – модель 1; б – модель 2;
в – модель 3

Таблица 2

Результаты расчета крена фундамента

Критерии / модели	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Осадка марки 11, см	2,84	3,85	3,31
Осадка марки 13, см	1,08	1,86	1,51
Крен	0,00110	0,00124	0,00113
Средняя осадка, см	1,96	2,86	2,41

Изополя горизонтальных перемещений рис. 9, результаты расчета крена ствола верхнего обреза ствола трубы приведены на трубы - табл. 3.

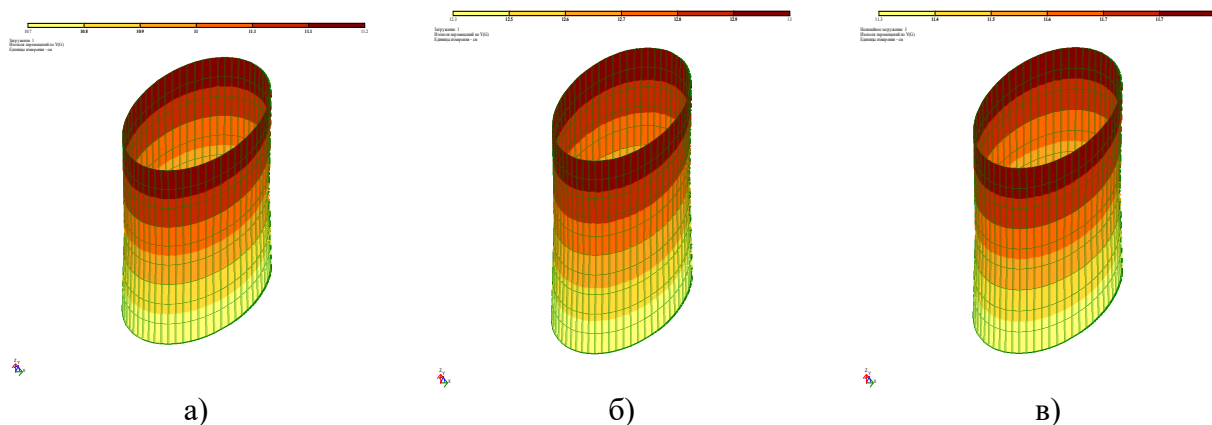


Рис. 9. Изополю горизонтальных перемещений верхнего обреза венттрубы:
а – модель 1; б – модель 2; в – модель 3

Таблица 3

Результаты расчета крена ствола трубы

Критерии / модели	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Геодез. съемка
Перемещение, см	11,2	13,0	11,8	11,7
Крен	0,00112	0,00130	0,00118	0,00117

График распределения горизонтальных перемещений по высоте трубы приведен на рис. 10.

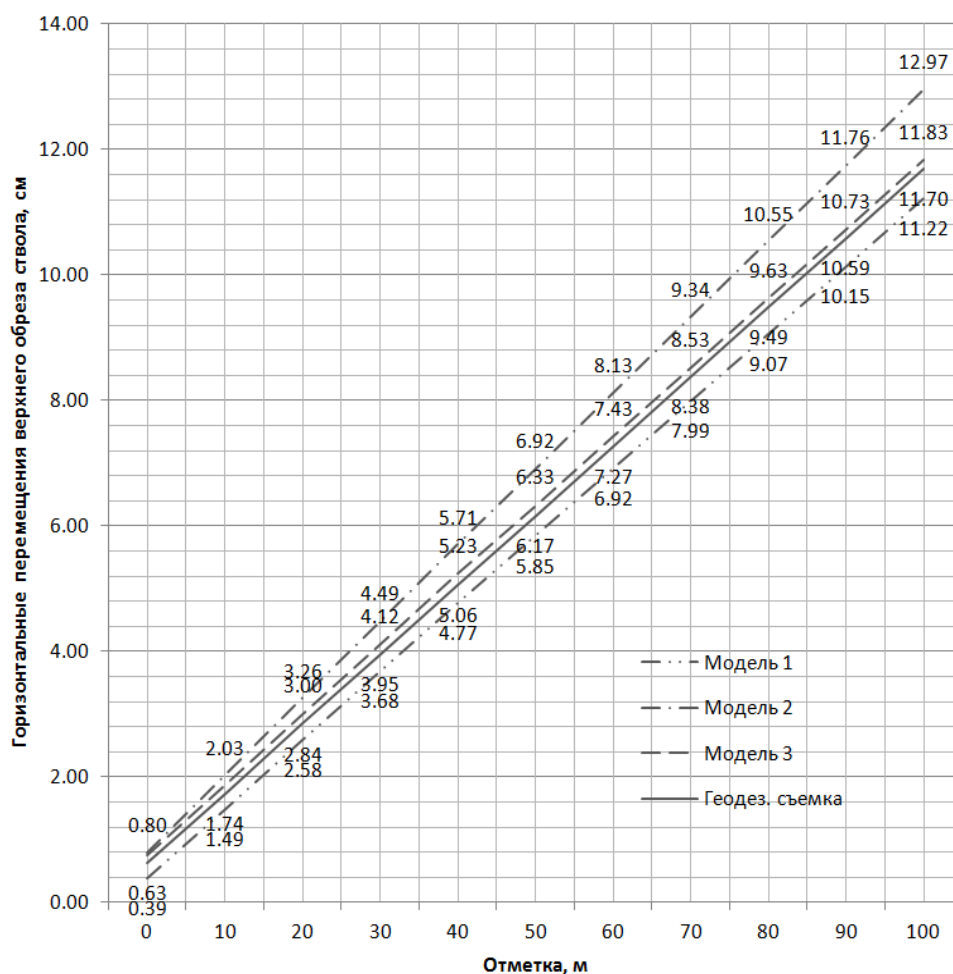


Рис. 10. График распределения горизонтальных перемещений по высоте трубы

Результаты исследования. Расхождение в результатах между данными геодезической съемки и исследуемыми моделями составило: по сравнению с моделью 1 – 4,3%, по сравнению с моделью 2 – 11,1%, по сравнению с моделью 3 – 0,9%. Сопоставляя результаты расчетов трех моделей и результаты исполнительной геодезической съемки, видно, что наиболее достоверной является численная модель из объемных физически нелинейных КЭ.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении:

1. Предложены подходы численного моделирования взаимодействия системы «вентруба – фундамент – основание»

различной степени сложности, точности и трудозатратности.

2. Выполнено сравнение численных моделей с результатами геодезических наблюдений, которое показывает, что все модели обладают достаточной степенью достоверности. Однако наиболее точной является модель с трехмерным грунтовым массивом из физически нелинейных объемных КЭ, при которой сходимость результатов составляет 0,9%.

3. При моделировании сооружений, имеющих небольшую площадь опирания на основание, необходимым условием является максимально точная информация об инженерно-геологическом строении грунтов участка расположения сооружения.

Список использованных источников

1. ВСН 286-72. Указания по расчету железобетонных дымовых труб. - М. : Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, 1972. - 27 с.
2. ВСН 286-90. Указания по расчету железобетонных дымовых труб. - М. : Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР, 1990. - 73 с.
3. ДБН В.2.1-10:2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування - К. : Мінрегіонбуд України, 2009. - 104 с.
4. Банах В. А. Развитие статико-динамических расчетных моделей зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Днепропетровск, 2013. – 40 с.
5. Зоценко, Н.Л. Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе // Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – С. 164 – 171.
6. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.
7. ДБН В.1.2-5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів / К., 2008. – 16 с.
8. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин – СПб.: «Стройиздат Северо-Запад», Группа компаний «Геореконструкция», 2010. – 551 с.
9. Vynnykov, Y. The Use of Reserves of Bearing Capacity of Base and Foundations During Reconstruction of Buildings / Y. Vynnykov, N. Zotsenko, A. Yakovlev // Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering. – Proc. of Intern. Geotechnical Conf. Dedicated to Tercentenary of Saint Petersburg. – SPtb. – М.: ASV Publishers, 2003. – Vol. 1. – P. 367 – 370.
10. Кичаева О.В. Моделирование зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, при статических и динамических воздействиях / О.В. Кичаева. – Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб. наук. праць. – Рівне, вип. 28, - 2014. – С. 376 – 386.

11. СО 153-34.21.322-2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций, М.: Минэнерго РФ, 2005 г. – 61 с.

12. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. Мінрегіонбуд України, 2010. - 49 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Шмуклер В.С.

Кичаева Оксана Владимировна, доцент, кандидат технических наук заведующий кафедрой механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетові, 61002, г. Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17, Тел. (057) 707-31-12, E-mail: o_kichaeva@mail.ru

Перепелица Екатерина Александровна аспирант очного отделения кафедры строительной механики, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40, Тел. (057) 706-20-63, E-mail: ekaterina-perepelica@mail.ru

Oksana Vladimirovna Kichaeva Associate Professor, Ph.D., Head of the Dept. of Soil mechanics, foundation and engineering geology, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 61002, Kharkiv, str. Marshala Bazhanova, 17, Phone: (057) 707-31-12, E-mail: o_kichaeva@mail.ru

Perepelitsa Ekaterina Aleksandrovna, Student full-time chair of structural mechanics, Kharkiv National University of Construction and Architecture, 61002, Kharkiv, str. Sumskaia, 40, Phone: (057) 706-20-63, E-mail: ekaterina-perepelica@mail.ru

Стаття прийнята 23.06.2015 р

УДК 624.014.2

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПРИ ДІЇ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Кандидати техн. наук В.О. Северин, Л.В. Карабаш, Д.М. Лазарєв

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ

Кандидаты техн. наук В.А. Северин, Л.В. Карабаш, Д.Н. Лазарев

CALCULATION OF RELIABILITY OF STEEL ELEMENTS OF FRAMEWORK BUILDINGS ON ACTION SNOW LOAD

Ph.D V.A. Severyn, Ph.D L.V. Karabash, Ph.D D.N. Lazarev

У статті представлена методика для оцінки надійності сталевих конструкцій будівель та споруд при дії снігового навантаження та отримані та проаналізовані реальні оцінки надійності даних елементів для різних регіонів України. Результати імовірнісних розрахунків підтвердили припущення про недостатню надійність окремих сталевих елементів існуючих будівель, запроєктованих за попередніми нормами до 2006 року. Крім того, явним є неоднакова ступінь надійності аналогічних елементів конструкцій будівлі в різних регіонах України. Викладена методика придатна як для імовірнісних розрахунків сталевих конструкцій при проектуванні або реконструкції унікальних будівель та споруд (імовірнісні моделі базуються на вихідних даних окремих метеостанцій, що дозволяє більш точно врахувати усі особливості навантажень), так і для імовірнісних розрахунків сталевих конструкцій масового виробництва (імовірнісні моделі базуються на узагальнених характеристиках тимчасових навантажень для районів України).

Ключові слова: залізобетонна балка, склеювання, сумісна робота, навантаження, несуча здатність, прогин.

В статті представлена методика для оцінки надійності сталевих конструкцій зданий и сооружений при воздействии снеговой нагрузки и полученные и проанализированные реальные оценки надежности данных элементов для различных регионов Украины. Результаты вероятностных расчетов подтвердили предположение о недостаточной надежности отдельных стальных элементов существующих зданий, запроектированных за предыдущим нормами до 2006 года. Кроме того, явным является неодинаковая степень надежности аналогичных элементов конструкций здания в разных регионах Украины. Изложена методика может использоваться как для вероятностных расчетов стальных конструкций при проектировании или реконструкции уникальных зданий и сооружений (вероятностные модели базируются на исходных данных отдельных метеостанций, что позволяет более точно учесть все особенности нагрузок), так и для вероятностных расчетов стальных конструкций массового производства (вероятностные модели базируются на обобщенных характеристиках временных нагрузок для районов Украины).

Ключевые слова: *надійність, ймовірність відмови, постійна навантаження, снігова навантаження.*

The article deals with methodology for evaluating the reliability of steel structures of buildings and structures under the action of snow load and received and analyzed real assessment of the reliability of the data elements for different regions of Ukraine. Results probabilistic calculations confirmed the assumption about the lack of reliability of certain steel elements existing buildings, designed by the previous rules until 2006. In addition, there is a various similar degree of reliability of structural elements of the building in different regions of Ukraine. The method of suitable probability calculations for steel structures in the design and reconstruction of buildings and unique structures (probabilistic models based on the initial data of individual weather stations that can more accurately take into account all features loads) and probability calculations for steel constructions of mass production (based probabilistic models on generalized characteristics temporary loads to regions of Ukraine).

Keywords: *reliability, probability of failure, continuous load, snow load.*

Вступ. Відповідно до чинних норм [1] під надійністю слід розуміти властивість об'єкта зберігати в визначених межах значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах експлуатації та технічного обслуговування, протягом встановленого строку служби. Визначення реальних показників надійності сталевих конструкцій є досить складною задачею, вирішення якої можливо лише на основі точного математичного опису випадкових факторів, що впливають на стан конструкцій в період їх зведення та експлуатації. При цьому, важливими питаннями є отримання моделей навантажень з урахуванням усіх особливостей їх стохастичної природи, точного врахування особливостей сумісної дії випадкових навантажень на сталеві конструкції.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Треба зазначити, що з введенням в дію ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» [2] характеристичні значення снігового навантаження значно збільшились. Таким чином, значна частина конструкцій будівель та споруд, запроектованих за попередніми нормами заздалегідь має недостатній рівень надійності. Це може призвести до значних капіталовкладень при виникненні на протязі періоду експлуатації відмов та аварій будівельних конструкцій, не говорячи вже про більш трагічні наслідки. Таким чином, на даному етапі важливим є розробка методики виявлення потенційно небезпечних груп будівельних конструкцій. Наведена у статті методика розроблена для оцінки надійності сталевих конструкцій будівель та споруд при дії снігового навантаження та

отримані реальні оцінки надійності даних елементів для різних регіонів України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даному напрямку імовірнісні розрахунки вже отримали певний розвиток: розроблено ряд моделей в різних імовірнісних формах, на базі яких отримані практичні оцінки надійності ряду будівельних (в тому числі сталевих) конструкцій [3 - 6], однак ці моделі мали більш науковий, ніж практичний характер. Тому досить актуальним є завдання: визначити реальний рівень надійності широкого кола конструкцій, виділити групи потенційно небезпечних будівель і споруд та для них запропонувати рекомендації щодо подальшої експлуатації.

Визначення мети та задачі дослідження. Підсумовуючи вищесказане, метою проведених досліджень та задачею статті є викладення методики для оцінки надійності сталевих конструкцій будівель та

$$f_{12}(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(u_1) f_2(u - u_1) du_1$$

де $u = u_1 + u_2$.

Щільність розподілу постійного навантаження представляється у вигляді нормованого нормального розподілу, а снігового навантаження – у вигляді

$$f_{12}(\gamma) = [(1 + p^2)/2\pi]^{1/2} \int_{Z1}^{Z2} \exp(C_0 + C_1 E + C_2 E^2 + C_3 E^3) \exp(-0.5 Z^2) dZ \quad (2)$$

де $E = \gamma \sqrt{1 + p^2} - Z p$;

$$Z1 = -1/V_{u(2)};$$

$$Z2 = D\gamma + 1/(V_{u(2)} p),$$

$$D = (\sqrt{1 + p^2})/p;$$

$$p = \hat{u}_1 / \hat{u}_2;$$

$$\gamma = (u - \bar{u}_1 - \bar{u}_2) / \hat{u};$$

Приклад сумісного розподілу нормального (1) та поліномо-експоненційного (2) законів наведено на

споруд при дії снігового навантаження та отриманні реальних оцінок надійності сталевих елементів будівель та споруд для різних регіонів України.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо сталеві елементи каркасу будівель та споруд, на які діє постійне (доля впливу C_1) та снігове (доля впливу C_2) навантаження. Значну їх частину складають елементи конструкцій покриття: кроквяні балки, ферми, прогони і т.п.

Вихідні параметри випадкових процесів постійного (1) та снігового (2) навантажень незалежні між собою, тому це є достатньою та необхідною умовою застосування формул згорток для знаходження композиції розподілів $f_1(u_1)$ та $f_2(u_2)$:

$$f_{12}(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(u - u_1) f_2(u_1) du_1 \quad (1)$$

або нормованого поліномо-експоненційного закону розподілу. Для даних розподілів композиція щільностей визначається за формулою:

рисунку 1, з якого видно, що сумісні розподіли відрізняються від вихідних розподілів, ступінь наближеності до вихідних розподілів залежить від співвідношення стандартів, тобто від параметра P .

Згортки для даних щільностей розподілів не беруться у замкненому вигляді і тому інтегруються чисельно.

Різниця щільностей нормального $f_{\xi}(\bullet)$ та поліномо - експоненційного $f_u(\bullet)$ розподілів визначається як:

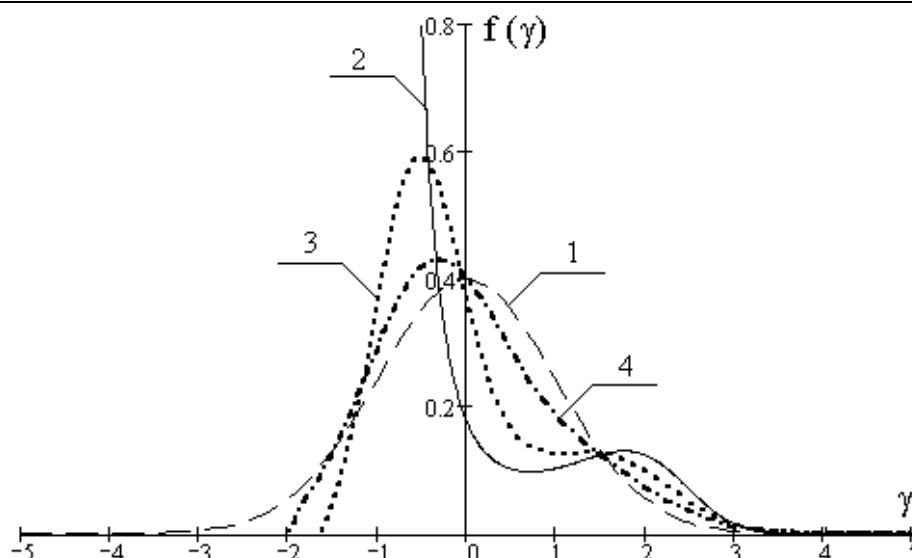


Рис. 1. Композиція розподілів нормального (1) та поліномо-експоненційного (2) при відношенні стандартів $p = 0.5$ (3) та $p = 1.0$ (4)

$$f_Y(\gamma) = \sqrt{\frac{1+p^2}{2\pi}} \int_{Z1}^{Z2} \exp(C_0 + C_1 E + C_2 E^2 + C_3 E^3) \exp(-0.5 Z^2) dZ, \quad (3)$$

де: $E = -\gamma \sqrt{1+p^2} + Z p;$

$$Z1 = D\gamma - 1/(V_u p);$$

$$D = (\sqrt{1+p^2})/p;$$

$$p = \hat{\xi}/\hat{u};$$

$$\gamma = (Y - \bar{\xi} + \bar{u})/\hat{Y},$$

$Z2$ визначається методом підбору виходячи із точності отриманих результатів.

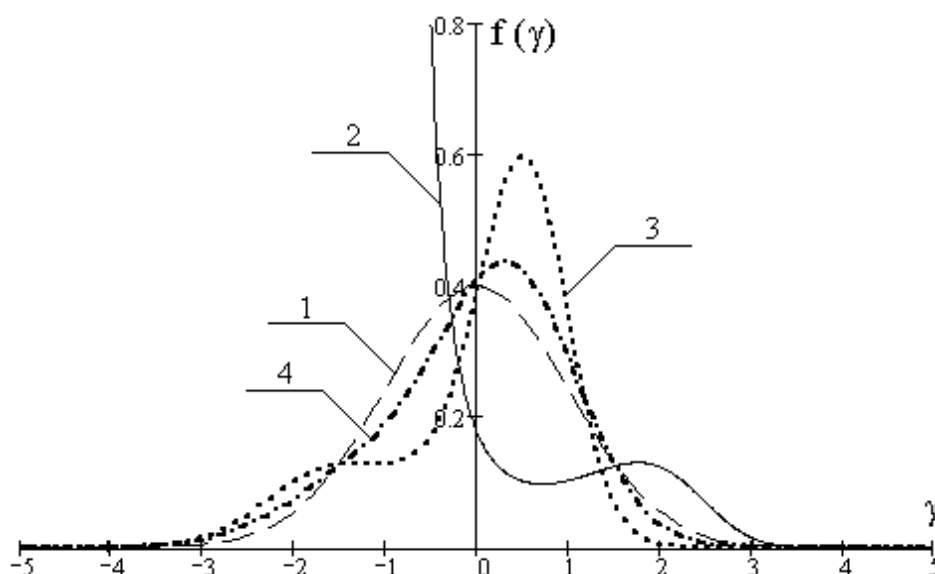


Рис. 2. Різниця розподілів нормального (1) та поліномо-експоненційного (2) при відношенні стандартів $p = 0.5$ (3) та $p = 1$ (4)

Імовірність відмови сталевого елемента на протязі часу t будемо визначати за

кількістю викидів сумарного нормованого випадкового процесу $u(t)$ за нормований рівень ξ за формулою:

$$Q(\xi; t) \approx N_+(\xi; t) = \frac{\omega_{e(u)} t}{\beta_{\omega(u)} \sqrt{2\pi}} f_u(\xi) \quad (4)$$

$$\omega_{e(12)} = \left[\frac{\omega_{e(1)}^2 \hat{u}_1^2 + \omega_{e(2)}^2 \hat{u}_2^2}{\hat{u}_1^2 + \hat{u}_2^2} \right]^{0.5} = \left[\frac{\omega_{e(1)}^2 + p^2 \omega_{e(2)}^2}{1 + p^2} \right]^{0.5}; \quad (5)$$

$\omega_{e(i)}$ – середня (ефективна) частота процесу навантаження (середнє число перетинів процесом нульового рівня), яка дорівнює відношенню стандарту першої похідної процесу до стандарту його ординати;

$f_u(\bullet)$ – нормована щільність розподілу сумарного випадкового процесу $u(t)$, що визначається з урахуванням узагальнених річних характеристик тимчасових навантажень на сталевий елемент;

$$\beta_{\omega(u)} = [(\beta_{\omega(1)}^2 + \beta_{\omega(2)}^2 p^2 \Theta^4)(1 + p^2)]^{0.5} / (1 + p^2 \Theta^2) \quad (6)$$

де $p = \hat{u}_2 / \hat{u}_1$ – відношення стандартів вихідних параметрів;

$\Theta = \omega_{e(2)} / \omega_{e(1)}$ – відношення їх ефективних частот.

Використаємо наведену методику для практичної оцінки надійності сталевих балок покриття одноповерхової будівлі, розташованих в різних регіонах України. Статистичні характеристики матеріалу та навантажень, а також підбір поперечного перерізу сталевих балок були прийняті згідно чинних будівельних норм. Оцінку надійності сталевих балок за несучою здатністю виконано у просторі нормальних напружень, де функцію резерву несучої здатності було представлено у формі випадкового процесу.

Доля напружень в сталевій балці від дії постійного (C_1) та снігового (C_2) навантажень в загальному напруженні визначаються за формулами:

де $\omega_{e(u)}$ – ефективна частота сумарного випадкового процесу $u(t)$, що визначається за формулою

$\beta_{\omega(u)}$ – коефіцієнт широкополосності сумарного випадкового процесу $u(t)$, що визначається за формулою.

$$C_1 = \frac{k \gamma_{f(1)}}{k \gamma_{f(1)} + \mu \gamma_{f(2)}}; \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{\mu \gamma_{f(1)}}{k \gamma_{f(1)} + \mu \gamma_{f(2)}}; \quad (8)$$

де $k = q_1^H / s_0$ – відношення нормативного значення постійного рівномірно розподіленого навантаження (q_1^H , кПа) до нормативного значення ваги снігового покриву на 1 м² горизонтальної поверхні землі (s_0 , кПа);

μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на землі до снігового навантаження на конструкції покриття;

$\gamma_{f(1)}$ та $\gamma_{f(2)}$ – коефіцієнт надійності відповідно за постійним та сніговим навантаженням.

За деформаціями розрахунок сталевих балок виконувався у просторі прогинів, а

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

постійне та снігове навантаження було представлено у формі абсолютних максимумів. Долі прогинів сталеві балки від дії постійного та снігового навантажень від загального прогину визначаються:

$$C_1 = k / (\mu + k); \quad (9)$$

$$C_2 = \mu / (\mu + k). \quad (10)$$

Імовірність відмови при цьому визначається:

$$Q(t) \approx N_+(t) = \frac{K_3 f_{12} [(f_u - \bar{u}_{12}) / \hat{u}_{12}]}{\sqrt{1 + (\hat{u}_1 / \hat{u}_2)^2} f_1(\gamma_{02})}, \quad (11)$$

де $f_{12}(\bullet)$ – композиція розподілів прогинів від постійного та снігового навантажень (композиція нормованих нормального $f_1(\bullet)$ та поліномо-експоненційного $f_2(\bullet)$ розподілів);

f_u – граничний прогин балки (визначається згідно норм [2]);

γ_{02} – характеристичний максимум снігового навантаження, що відповідає періоду повтору t .

Таблиця 1.

Параметри снігового навантаження, отримані при обробці даних спостережень на різних метеостанціях України

№ п/п	Назва параметрів	Числові значення параметрів для метеостанцій			
		Івано-Франківськ	Вінниця	Семенівка	
1	2	3	4	5	
1	Дата появи стійкого снігового покриву t_n	24.XI	3.XI	30.X	
2	Дата сходу стійкого снігового покриву t_k	5.IV	13.IV	27.IV	
3	Параметр НКФ α , 1/добу	0.029	0.033	0.0219	
4	Зона кореляції $t_{кор}$, діб	101	92	136	
5	Ефективна частота ω_e , 1/добу	0.111	0.131	0.0809	
6	Частота за екстремумами ω_m , 1/добу	0.297	0.317	0.2185	
7	Коефіцієнт варіації V	2.037	1.560	1.540	
8	Асиметрія A	1.806	1.268	0.811	
9	Математичне сподівання, що відповідає максимуму тренда \bar{X}_{max} , Па	276.84	315.44	535.44	
10	Коефіцієнти поліному тренда математичного сподівання	P_0	-153.561	-238.440	-174.744
		P_1	-2.9700	4.0861	-1.9629
		P_2	0.0882	0.0187	0.10741
		P_3	$-3.3 \cdot 10^{-4}$	$-1.4 \cdot 10^{-4}$	$-4.2 \cdot 10^{-4}$
11	Коефіцієнти поліномо-експоненційного розподілу	C_0	-2.366	-1.428	-1.2625
		C_1	-2.100	-1.504	-0.9326
		C_2	4.383	0.958	-0.1924
		C_3	-2.865	-0.506	-0.1849

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Результати імовірнісних розрахунків показують недостатню надійність сталевих елементів, підібраних за чинними нормами при дії снігового навантаження (див. табл. 2). Крім того, явним є неоднакова ступінь надійності елементів в різних регіонах України (див. табл.2). Проведені дослідження виявили загальну тенденцію до збільшення значень імовірності відмови сталевих елементів по мірі зменшення впливу постійного навантаження та росту значення C_2 , що визначає долю напружень від снігового

навантаження в загальному напруженні в елементі. Викладена методика придатна як для імовірнісних розрахунків сталевих конструкцій при проектуванні або реконструкції унікальних будівель та споруд (імовірнісні моделі базуються на вихідних даних окремих метеостанцій, що дозволяє більш точно врахувати усі особливості навантажень), так і для імовірнісних розрахунків сталевих конструкцій масового виробництва (імовірнісні моделі базуються на узагальнених характеристиках тимчасових навантажень для районів України згідно норм [2]).

Таблиця 2.

Імовірність відмови кроквяних сталевих балок з покрівлею різної конструкції,
(проліт $L_B = 12$ м, крок $B = 6$ м) з періодом експлуатації $t = 50$ років

Тип покрівлі	Переріз № I	Результати розрахунку згідно норм проектування		Результат імовірнісного розрахунку конструкцій						
				Граничний стан 1 групи			Граничний стан 2 групи			
		σ , МПа	$\frac{f}{L_B}$	Доля впливу		Імовірність відмови	Нижнє значення імовірності відмови	Доля впливу		Верхнє значення імовірності відмови
				C_1	C_2			C_1	C_2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Івано-Франківськ АМСГ										
T1	55Б2	246	1/266	0.86	0.14	$1.59 \cdot 10^{-5}$	$8.53 \cdot 10^{-3}$	0.89	0.11	0.416
T2	45Б1	224	1/293	0.70	0.30	$1.87 \cdot 10^{-4}$	$6.13 \cdot 10^{-5}$	0.73	0.27	0.611
T3	35Б1	256	1/292	0.42	0.58	0.0583	$3.30 \cdot 10^{-9}$	0.52	0.48	2.022*
Вінниця										
T1	55Б2	259	1/266	0.82	0.18	$9.29 \cdot 10^{-3}$	$8.54 \cdot 10^{-3}$	0.84	0.16	1.270*
T2	45Б1	252	1/293	0.62	0.38	0.0399	$6.13 \cdot 10^{-5}$	0.66	0.34	1.521*
T3	35Б3	249	1/378	0.34	0.66	0.5491	$3.26 \cdot 10^{-14}$	0.44	0.56	2.228*
Семенівна										
T1	60Б1	242	1/331	0.76	0.24	$3.43 \cdot 10^{-3}$	$9.36 \cdot 10^{-9}$	0.78	0.21	1.038*
T2	45Б2	253	1/343	0.54	0.46	0.1177	$9.05 \cdot 10^{-11}$	0.57	0.43	4.963*
T3	40Б2	252	1/543	0.26	0.74	0.5984	$3.04 \cdot 10^{-16}$	0.36	0.64	5.184*

Примітки:

1. Типи покрівлі: T1 – покрівля з утеплювачем по залізобетонним панелям; T2 – покрівля з утеплювачем по сталевому профільованому настилу; T3 – покрівля без утеплювача по сталевому профільованому настилу.

2. C_1 та C_2 – відповідно долі впливу постійного та снігового навантажень.

3. Імовірності відмови за граничним станом 2 групи визначаються: нижнє значення – при дії постійного навантаження (влітку); верхнє – при дії постійного та снігового навантажень (взимку).

Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ / Мінрегіонбуд України. –Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи /Мінбуд України.–Київ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
3. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: монография / С.Ф. Пичугин. – Полтава: ООО «Асми», 2009. – 452 с.
4. Северин, В.О. Імовірнісний розрахунок сталевих конструкцій на сумісну дію випадкових навантажень: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: 05.23.01 / В.О. Северин. – Полтава: ПолтНТУ, 2001. –19 с.
5. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – К.: Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 1999. – 212 с.
6. Северин, В.О. Чисельне імовірнісне моделювання випадкового процесу снігового навантаження на покриття одноповерхових виробничих будівель / В.О. Северин, А.М. Пащенко, П.Ю. Винников, А.В. Батіг // ПолтНТУ, 2012. – С.127-134

Рецензент д-р техн наук Воскобійник О.П.

Северин Віталій Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Карабаш Леонід Віталійович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Лазарев Дмитро Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної та теоретичної механіки імені Л.І. Сердюка, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка.

Severyn Vitaliy Alekseevych Ph.D., associate professor at the chair of “Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. E-mail: navis12@ukr.net

Karabash Leonid Vytalevych Ph.D., senior lecturer at the chair of “Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. E-mail: Karabash.Poltava@mail.ru

Lazarev Dmitriy Nikolaevych Ph.D., associate professor at the chair of “Building and Theoretical Mechanics named after L.I. Serdyuk”, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. E-mail: lazaryev_dmitriy@mail.ru

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 624.01.4.046.3:62-192

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Д-р техн. наук В.А. Пашинський, канд. техн. наук О.О. Довженко, магістр В.І. Рудченко

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ШПОНОЧНЫХ СТЫКОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ

Д-р техн. наук В.А. Пашинский, канд. техн. наук О.А. Довженко, магистр В.И. Рудченко

THE RESULTS OF KEYED JOINTS STATISTICAL ANALYSIS OF DESIGN METHODS AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR USING

DSc V. Pashynskiy, PhD O. Dovzhenko, Master student V. Rudchenko

Розв'язується питання вибору ефективного методу розрахунку шпонкових стиків. Для порівняння існуючі методи зведено до одного критерію, за допомогою якого здійснено імовірнісний аналіз несучої здатності шпонкових з'єднань. За результатами статистичних обчислень вибрано оптимальний метод розрахунку та надано рекомендації щодо його застосування.

Ключові слова: шпонка, метод розрахунку, коефіцієнт надійності моделі, імовірнісний аналіз.

Решается вопрос выбора наиболее эффективного метода расчета шпоночных стыков. Для сравнения существующие методы сведены к одному критерию, с помощью которого осуществлен вероятностный анализ несущей способности шпоночных стыков. По результатам статистических вычислений выбран оптимальный метод расчета и даны рекомендации по его применению.

Ключевые слова: шпонка, метод расчета, коэффициент надежности модели, вероятностный анализ.

The question of the choice of the most effective design keyed joints method is solved. Concrete, reinforced concrete, compressed and reinforced concrete compressed joints were reviewed. For comparison, all the methods are reduced to one criterion by which effected a probabilistic analysis of keyed joints bearing capacity. Reliability coefficient design model was used. The main task of any calculation of building constructions is providing a sufficient level of reliability and appropriate decision will be correction of design methods under the same given level of reliability. The table was formed, parameters of it describe the level of reliability and probabilistic errors every of design methods. All methods were described in original form and after correction on safety factor models for a given reliability. By the results of statistical calculation choose the optimal design method and gave recommendations on its using.

Keywords: key, design method, safety factor models, probabilistic analysis.

Вступ. Згідно моніторингового звіту Міністерства регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства показник забезпеченості житлом українців майже вдвічі менше європейського. Враховуючи складне економічне становище в країні, необхідно шукати вигідні й оптимальні шляхи забезпечення населення доступним житлом.

Одним із них є використання технології збірно-монолітного каркасу (ЗМК), котра забезпечує високу якість і швидкість зведення будівель, значне зниження об'єму робіт на будівельному майданчику, зменшення витрат залізобетону на 1 м² площі будівлі, можливість вільного планування квартир, а тому належить до

найперспективніших технологій житлового будівництва.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Сумісна робота окремих елементів таких будівель часто забезпечується за рахунок шпонкових з'єднань. Наприклад: у житлових будинках на основі конструктивної системи Сарет (рис. 1) і Казань XXI ВЕК (рис. 2) за допомогою шпонкових стиків сполучають збірні ригелі з колонами, а в системі Аркос (рис. 3) вони забезпечують сумісну роботу багатопустотних плит перекриття із монолітними ригелями та між собою. Вдосконалення методики розрахунку шпонкових з'єднань є актуальною задачею.

Аналіз останніх публікацій. Існуючі методи розрахунку міцності стиків зазвичай базуються на емпіричній основі, є частковими, мають вузьку галузь застосування, обмежену умовами виконаного дослідження, та приводять до результатів, які суттєво відрізняються чисельно. Тому важко віддати перевагу будь-якій із відомих методик.

При випробуванні окремих шпонок, дослідники, як правило, фіксують три характерних випадки руйнування – зминання, зріз і згин залежно від відношення

глибини до висоти шпонки l_k/h_k . Проаналізуємо теоретичні залежності для визначення міцності шпонок при зрізі (табл. 1) з метою надання рекомендацій щодо можливості їх застосування. Серед факторів, які обумовлюють міцність шпонки, виділяють: характеристики міцності бетону, геометричні параметри стика, рівень обтиснення й армування.

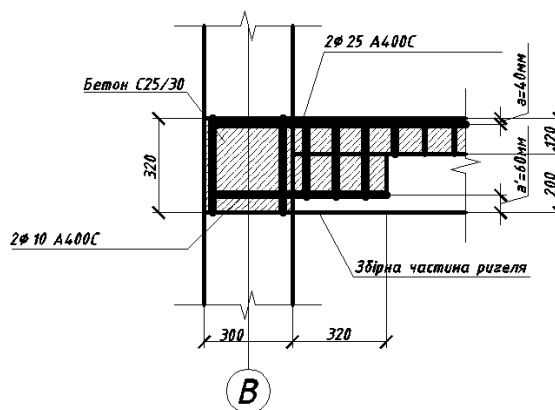
В ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка розроблено варіаційний метод теорії пластичності бетону, який базується на розгляді характеру руйнування шпонок і враховує повну сукупність визначальних факторів міцності [13].

Метою роботи є надання рекомендацій щодо застосування конкретного методу розрахунку міцності шпонкових з'єднань на основі аналізу надійності існуючих методик.

Виклад основного матеріалу і результати. Для порівняльного аналізу існуючих методів розрахунку створена електронна база експериментальних досліджень шпонкових стиків [9], яка включає дані випробувань 91 зразка для чотирьох типів з'єднань, котрі були отримані шістьма авторами: із них 23 бетонних, 29 обтиснутих бетонних, 28 залізобетонних і 11 залізобетонних обтиснутих шпонок.



Рис. 1 Вузол з'єднання ригеля з крайньою колоною в ЗМК Сарет



Для кожного виду шпонок наявно більше 10 – ти випробуваних зразків, що допускає виконання статистичного аналізу, а досить широкі межі варіювання основних характеристик забезпечують можливість порівняння результатів випробувань з різними розрахунковими методами.

Вихідними даними при цьому являються: X_e – експериментальні значення умовних напружень зрізу шпонки; X_c – теоретичні середні значення несучої здатності (обчислені з урахуванням середньої міцності бетону); X_p – теоретичні розрахункові значення несучої здатності

(обчислені з урахуванням розрахункового опору бетону).

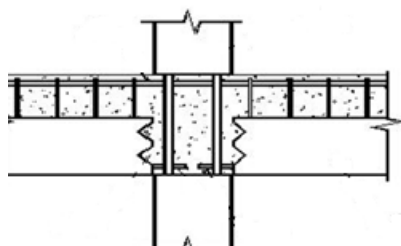


Рис. 2 Шпонковий стик ригеля з колоною в ЗМК Казань XXI ВЕК



Рис. 3 Вузол сполучення збірних багатопустотних плит з монолітними ригелями в ЗМК Аркос

За наявними даними для кожного зразка та кожного методу розрахунку підраховані відносні відхилення середніх і розрахункових теоретичних значень від експериментальних, а також для кожного виду шпонок та обраного методу розрахунку сформовані вибірки відносних відхилень. Додатні відхилення відповідають небажаній ситуації, коли розрахунковий метод завищує несучу здатність конструкції. Відхилення зі знаком «мінус» означають наявність запасу надійності. Статистична обробка отриманих вибірок виконана за відомою методикою в середовищі MS Excel із обчисленням середніх значень та стандартів відхилень.

Середнє значення характеризує систематичну похибку розрахункового методу, а стандарт – її випадкову складову.

Забезпеченість результатів розрахунку, тобто показник надійності розрахункового методу, дорівнює імовірності того, що відхилення розрахункових значень будуть від'ємними, тобто обраний метод розрахунку забезпечує запас надійності:

$$P_P = I_{MOB} \{ \Delta_p < 0 \} \quad (1)$$

Цю імовірність можна визначити за таблицями нормального розподілу [11] через аргумент:

$$t_c = M_{\Delta C} / S_{\Delta C} \quad (t_p = M_{\Delta P} / S_{\Delta P}), \quad (2)$$

або безпосередньо через вбудовану функцію нормального розподілу в Excel.

Якщо даний метод розрахунку не має систематичної похибки, то середні відхилення повинні наближатися до нуля ($\Delta_c \approx 0$), а їх забезпеченість має дорівнювати $P_c \approx 0,5$. Забезпеченість розрахункових відхилень повинна бути досить близькою до одиниці ($P_c \rightarrow 1$). Це свідчитиме про достатню надійність обраного методу розрахунку.

Якісний, точний і надійний метод розрахунку повинен мати незначну систематичну похибку, досить високий рівень забезпеченості P_P та невеликі запаси міцності, які можна оцінити за середнім значенням розрахункових відхилень $M_{\Delta P}$.

В якості прикладу розглянемо аналіз методу розрахунку міцності бетонних шпонок за ВСН 72-77 [1].

Вибірki експериментальних X_e і теоретичних X_c і X_p значень несучої здатності, а також середніх і розрахункових відхилень Δ_c і Δ_p (1) для 23 дослідних зразків наведені в табл. 2.

Із результатів статистичної обробки видно, що даний метод розрахунку має систематичну похибку в запас надійності, тобто занижує середню несучу здатність шпонки на 25,5%. Забезпеченість середніх відхилень при цьому складає $P_C = 0,945$. Розрахунковий середній запас міцності становить 64,1%, а рівень забезпеченості $P_P \approx 1,00$.

Для порівняння різних методів розрахунку доцільно звести їх характеристики до одного критерію, забезпечивши рівність інших характеристик. Для їх варіювання використано коефіцієнт надійності розрахункової моделі γ_{rd} , можливість врахування якого регламентована нормами [12].

Головним і першочерговим завданням будь-якого розрахунку несучих будівельних конструкцій є забезпечення достатнього рівня надійності, тому адекватним рішенням буде коригування розрахункових методів для всіх видів шпонок під заданий, однаковий для всіх методів, рівень надійності.

В якості такого значення доцільно прийняти встановлену нормами [12] мінімально допустиму забезпеченість розрахункового опору матеріалів $P_p = 0,995$. При рівних показниках надійності розрахунку кращим слід вважати метод, який дає менші запаси несучої здатності, тобто менше значення $M_{\Delta P}$.

З використанням надбудови Excel «Пошук рішення» обчислюється таке

значення γ_{rd} , котре забезпечить заданий рівень надійності розрахунку.

З табл. 3 видно, що при коефіцієнті надійності моделі $\gamma_{rd} = 0,551$ отримана забезпеченість результатів розрахунку $P_p = 0,995$. Середній запас розрахункових значень несучої здатності у результаті коригування зменшився до 34,7%.

За цією методикою виконано аналіз шести методів розрахунку бетонних і залізобетонних шпонок, п'яти – обтиснутих бетонних і двох методів розрахунку обтиснутих залізобетонних шпонок. Результати представлені у вигляді діаграм середніх запасів для усіх типів шпонок (рис. 4.)

Із діаграм видно, що для всіх типів шпонок найнижчі середні запаси міцності після коригування забезпечує варіаційний метод, який і рекомендується до практичного застосування.

Висновки за результатами дослідження.

1. Вибір оптимального методу розрахунку шпонкових з'єднань виконано за результатами статистичного аналізу запасів міцності розрахункових значень несучої здатності відносно експериментальних даних.

2. Порівняльний аналіз методів розрахунку, базується на використанні коефіцієнтів надійності моделі: коригування здійснюється до заданого рівня забезпеченості розрахунку та порівняння середніх запасів.

3. До застосування для розрахунків шпонкових з'єднань усіх видів рекомендується варіаційний метод теорії пластичності, який при обраному рівні надійності 0,995 має найнижчі середні запаси міцності та відповідно мінімальні витрати матеріалів.

Методи розрахунку міцності шпонкових з'єднань

Вид	Розрахункові залежності	Джерело, автор
Бетонні шпонки	$V_{sh,c}^k = k f_{ctd} A_{sh},$ де $A_{sh} = h_k b_k$ – площа зрізу шпонки, h_k – висота, b_k – ширина шпонки, $k = 1,5$ – емпіричний коефіцієнт	ВСН 72-77, Пособие по проектированию жилых зданий
	$V_{sh,c}^k = c f_{ctd} A_{sh} \leq 0,5 v f_{cd} A_{sh},$ де c – коефіцієнт, для шпонкового профілю 0,5; v – коефіцієнт зниження міцності	Eurocode 2, ДСТУ Б В.2.6
	$V_{sh,c}^k = 2 f_{ctd} A_{sh}$	СП 52–117–2008
	$V_{sh,c}^k = 2,1 A_{sh} \sqrt{f_{c,cube}},$ де $f_{c,cube}$ – в кгс/см ²	Рохлін І.А.
	$V_{sh,c}^k = 1,7 A_{sh} \sqrt{f_{c,cube}}$	Коноводченко В.І.
Залізобетонні шпонки	$V_{sh,s} = V_{sh,c}^k (1 - f \eta_\alpha) + f (\rho_{sw} f_{ywd}) b_k h_k,$ але не більше $V_{sh,s}^{\max} = b_k h_k f_{ctd} \sqrt{f_{ctd} + \rho_{sw} f_{ywd}},$ де $\eta_\alpha = \frac{tg \alpha - f}{1 + f tg \alpha} \geq 0,15;$ f – коефіцієнт тертя (при сейсмічних впливах – 0,5; для інших – 0,7); ρ_{sw} – коефіцієнт армування стику	ВСН 72-77
	$V_{sh,s} = V_{sh,c}^k + 0,7 f_{ywd} A_{sw}$	СП 52–117–2008
	$V_{sh,s} = V_{sh,c}^k + f (f_{ywd} A_{sw} - \eta_\alpha V_{sh,c}^k),$ $f = 0,7 \div 0,8; \eta_\alpha = 0,15 \div 0,2$	Ашкінадзе Г.І.
	$V_{sh,s} = V_{sh,c}^k (1 + 4 \cdot 10^{-5} f_{ywd} n d),$ де n, d – кількість і діаметр арматурних стрижнів у стику	Коноводченко В.І.
	$V_{sh,s} = V_{sh,c}^k + \rho_{sw} f_{ywd} \mu A_{sh} \leq 0,5 v f_{cd} A_{sh},$ де c і μ – коефіцієнти, котрі залежать від шорсткості поверхні	ДСТУ Б В.2.6, Eurocode 2
Обтиснуті шпонки	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + 0,7 N$	ВСН 72-77
	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + \mu N,$ де $\mu = 0,9$ – коефіцієнт, який залежать від виду поверхні	Eurocode 2, ДСТУ Б В.2.6
	$V_{sh,\sigma}^k = 0,9 V_{sh,c}^k + N$	Пособие по проектированию жилых зданий
	$V_{sh,\sigma}^k = V_{sh,c}^k + \frac{7}{\sqrt{f_{c,cube}}} N,$ де $f_{c,cube}$ – в кгс/см ²	Рохлін І.А.
Залізобетонні обтиснуті	$V_{sh,\sigma,s}^k = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho_{sw} f_{ywd} \mu \leq 0,5 v f_{cd},$ де $\mu = 0,9, c = 0,5$ – коефіцієнти, що залежать від виду поверхні	Eurocode 2, ДСТУ Б В.2.6

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Таблиця 2

Порівняння теоретичних та експериментальних значень несучої здатності бетонних шпонок

№	X_e	X_c	X_p	Δc	Δp
1	3,49	2,85	1,236	-0,184	-0,646
2	3,24	2,85	1,236	-0,120	-0,619
...
22	3,92	2,265	1,442	-0,422	-0,632
23	9,01	3,975	2,814	-0,559	-0,688
N=				23	23
M=				-0,255	-0,641
S=				0,160	0,074
Забезпеченість P				0,945	1,000

Таблиця 3

Відхилення теоретичних значень несучої здатності бетонних шпонок, скоригованої за заданим рівнем надійності

№	X_e	Кориговані середні	Кориговані розрахункові	Відхилення коригованих середніх	Відхилення коригованих розрахункових
1	3,49	5,176	2,245	0,482	-0,357
2	3,24	5,176	2,245	0,598	-0,307
...
22	3,92	4,114	2,618	0,049	-0,332
23	9,01	7,219	5,111	-0,199	-0,433
N=				23	23
M=				0,353	-0,347
S=				0,290	0,135
Забезпеченість P				0,112	0,995

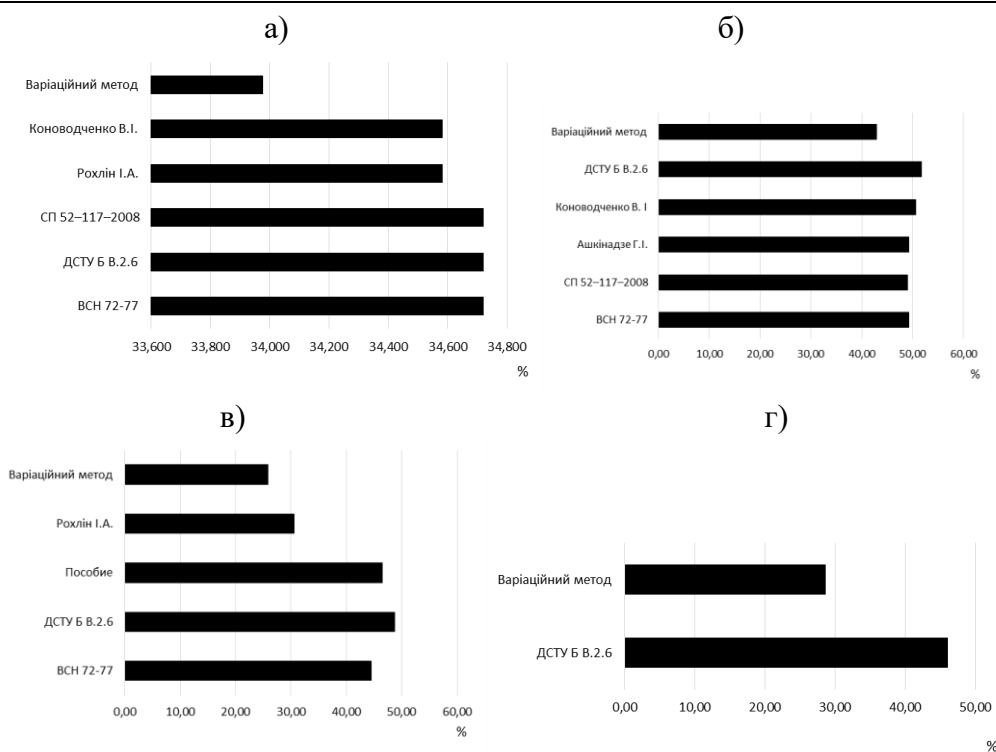


Рис. 4 – Середній запас методів розрахунку при коригуванні за рівнем надійності для: а – бетонних; б – залізобетонних; в – обтиснутих; г – залізобетонних обтиснутих шпонок

Список використаних джерел

1. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий: ВСН 72-77. – М.: Стройиздат, 1978. – 177 с.
2. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
3. Eurocode 2, Part 1. Design of concrete structures. 1992.
4. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону: ДСТУ Б В.2.6. – К.: НДІБК, 2010. – 156 с.
5. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование: СП 52-117-2008. – М., 2008. – 240 с.
6. Рохлин И.А. Исследование и расчет бессварочных шпоночных стыков тонкостенных железобетонных конструкций / И.А. Рохлин, В.А. Бондарев. – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1968. – 34 с.
7. Коноводченко В.И. Прочность стыковых соединений сейсмостойких крупнопанельных зданий при сдвиге / В.И. Коноводченко, А.В. Черкашин, П.Н. Бобришев // Бетон и железобетон. – 1968, – №8. – С. 5 – 12.
8. Ашкінадзе Г.Н. Использование каркасно-стержневой модели в исследовании работы шпоночных стыков на сдвиг конструкций / Г.Н.Ашкінадзе, И. Л. Герасимова // Прочность и трещиностойкость коротких железобетонных элементов: межвуз. сб. – Казань: КИСИ, 1989. – С. 35 – 41.
9. Пашинський В. А. Результати статистичного аналізу методів розрахунку шпонкових з'єднань та рекомендації щодо їх застосування / В. А. Пашинський, О. О. Довженко, В. І. Рудченко // Матеріали Всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій» 18 бер. 2015 р. [Текст]. – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. – 305 с.
10. Пашинський В. А. Методика статистичного аналізу точності та ефективності розрахунків шпонкових з'єднань / В. А. Пашинський, О.О. Довженко, В. І. Рудченко //

Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2015. – Вип. 30. – С. 211–218.

11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

12. ДБН В.1.2-14-2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Мінбуд України, 2009.

13. Довженко О. О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів // О.О. Довженко, В. В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва» – Львів, 2013. – №755. – С. 111 – 117.

Пашинський В. А., д. т. н., професор (Кіровоградський національний технічний університет), (099) 735-86-91

Довженко О. О., к. т. н., доцент (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка), (050) 982 58 54

Рудченко В. І., магістр (Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка), lerunka1993@gmail.com, (066) 69 20 086

V. Pashynskiy, Professor, Doctor of Technical Science (Kirovograd National Technical University) (099) 735-86-91

O. Dovzhenko, Ph. D. Associate Professor, Docent (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University), (050) 982 58 54

V. Rudchenko, master student, (Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University), lerunka1993@gmail.com, (066) 69 20 086

Стаття прийнята 03.07.2015 р

УДК 624.046.3:624.078.34

ВРАХУВАННЯ ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ШПОНОК У РОЗРАХУНКАХ ЇХ МІЦНОСТІ

Кандидати техн. наук О.О. Довженко, В.В. Погрібний, асп. Ю.В. Чурса

УЧЕТ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ШПОНОК ПРИ РАСЧЕТЕ ИХ ПРОЧНОСТИ

Кандидаты техн. наук О.А. Довженко, В.В. Погребной, асп. Ю.В. Чурса

ACCOUNTING CROSS-SECTIONAL SHAPE OF KEYED JOINTS IN DESIGNING THEIR STRENGTH

Ph.D O. Dovzhenko, Ph.D V. Pogrebnoy, Postgraduate Yu. Chursa

У збірно-монолітних каркасних багатопверхових житлових будівлях для забезпечення сумісної роботи окремих елементів застосовують шпонкові з'єднання. При обпиранні багатопустотних плит на несучі ригелі в одному рівні форма поперечного профілю шпонки кругла або овальна.

В ПолтНТУ запропонована методика розрахунку міцності шпонкових стиків, яка базується на розгляді характеру руйнування та враховує максимальну сукупність факторів впливу.

Ключові слова: шпонка, стик, міцність, поперечний переріз, варіаційний метод.

В сборно-монолитных каркасных многоэтажных жилых зданиях для обеспечения совместной работы отдельных элементов применяют шпоночные соединения. При опирании многопустотных плит на несущие ригели в одном уровне форма поперечного профиля шпонки круглая или овальная. В ПолтНТУ предложена методика расчета

прочности шпальных стыков, базирующаяся на рассмотрении характера разрушения и учитывающая максимальное количество факторов влияния.

Ключевые слова: шпонка, стык, прочность, поперечное сечение, вариационный метод.

Keyed joints are used in precast-monolithic frame high-rise residential buildings to ensure collaboration of individual elements. In-core slabs leaning on the supporting girders form cross-section round or oval.

The method has been proposed of designing the strength keyed joints in PoltNTU. It is based on consideration of the character of destruction and allows a maximum aggregate of determinants: resistance of concrete compression f_{cd} and tension f_{ctd} ; geometric parameters of joints (depth l_k , height h_k , width b_k) and the ratio l_k/h_k ; form of keyed profile (rectangular, round, oval); angle of support surface ψ (rectangular, trapezoidal and triangular key); level of compression σ/f_{cd} ; reinforcement (amount of reinforcement $\rho_w = A_{sw}/b_k h_k$ and the character of its location); the quality of keys n_k .

We consider the bearing assembly of hollow plates on monolithic beams in the ceiling structural system ARCOS. The problem of keyed joint's strength are solving to considered circular cross keys by reducing geometry of the fracture surface. The strength of the key ceases to below 10%. It is proposed to organize reinforced concrete keyed joints, as a working reinforcement is $2 \text{ } \varnothing 3 f_{yd} = 375 \text{ N/mm}^2$.

Key words: key joint, connection, strength, cross-section, variational method.

Вступ. У сучасному будівництві під системи «СОРЕТ», «КАЗАНЬ – XXI», «АРКОС» (рис. 1) доступне житло широко застосовуються збірно-монолітні конструктивні каркасні

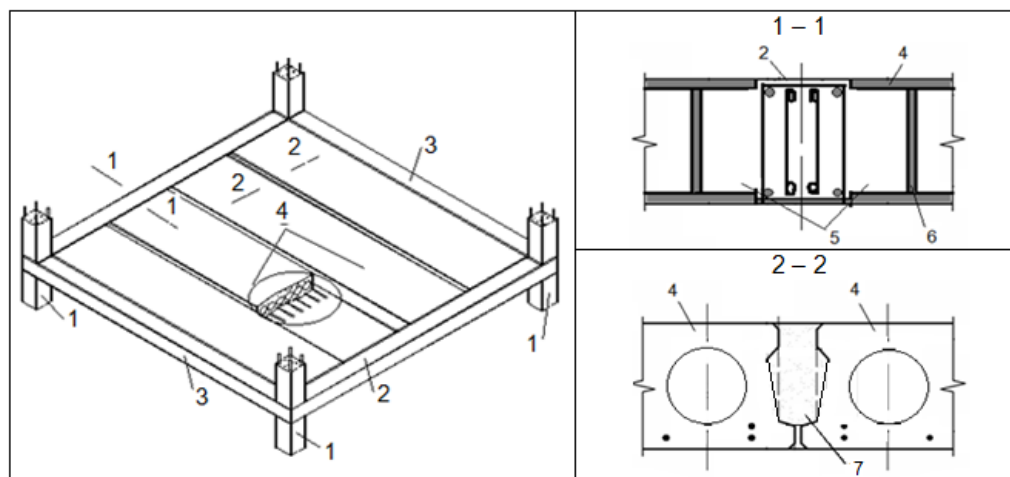


Рис.1. Ділянка будівлі конструктивної системи «АРКОС»: 1 – колони; 2 – монолітні несучі ригелі; 3 – монолітні в'язеві ригелі; 4 – збірні багатопустотні плити; 5 – бетонні шпонки несучих ригелів; 6 – обмежувач розмірів шпонки; 7 – бетонні шпонки між плитами

Конструктивна система «СОЧІ» (рис. 2) не знайшла широкого розповсюдження, однак вона також заслуговує уваги проектувальників.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із

важливими науковими та практичними завданнями. В зазначених системах для сумісної роботи їх окремих елементів застосовують шпонкові з'єднання ригелів із колоною – в системах «СОРЕТ» і

«КАЗАНЬ – XXI», плит і ригелів – «СОЧІ» і «АРКОС» (рис. 3).

Проектування стиків на основі методики розрахунку міцності, котра враховує максимальну кількість визначальних факторів, забезпечить надійність їх експлуатації. Серед цих

факторів важливе місце займає форма поперечного перерізу шпонки.

При обпиранні плит на несучі ригелі вона може бути круглою (для типових круглопустотних плит) або овальною – для плит типу Тенсиланд.

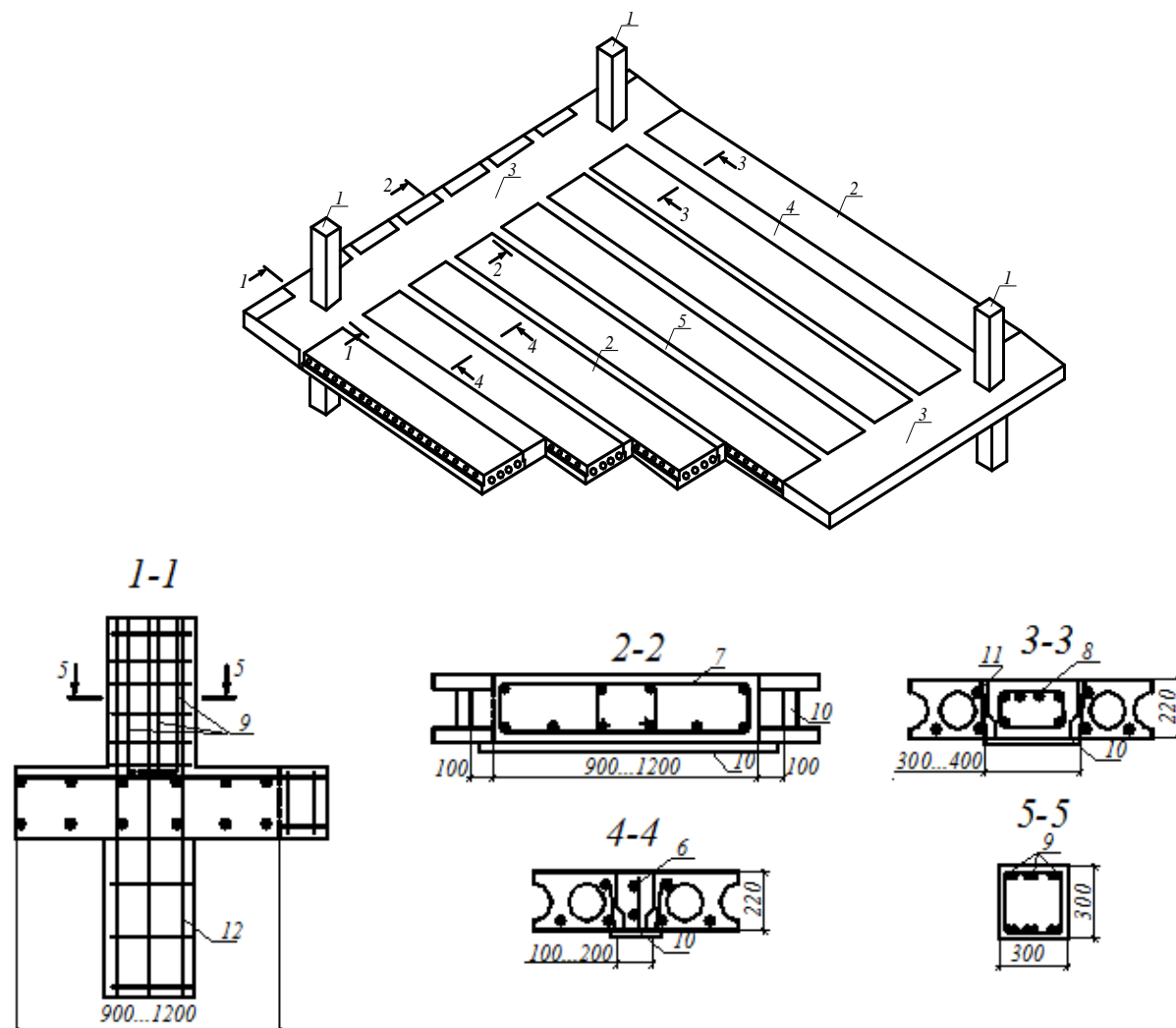


Рис. 2. Збірно-монолітне перекриття типу «СОЧІ»: 1 – колони; 2 – збірні плити перекриття; 3 – монолітні ригелі; 4, 5 – монолітні балки між колонами та збірними плитами; 6 – 8 – арматурні каркаси монолітних елементів перекриття; 9 – стикові стрижні; 10 – опалубка; 11 – шпонка; 12 – арматурний каркас колон

Аналіз останніх публікацій. В [2] цей фактор враховується за допомогою коефіцієнта форми поперечного перерізу η_1 :

– при змінанні граничне навантаження

підраховується як $V_u = f_{cd} \eta_1 d l_k n_k$;

– при зрізі $V_u = 2 f_{ctd} \eta_1 d^2 n_k$,

де n_k – кількість шпонок у межах ширини багатопустотної плити; d – діаметр (ширина)

шпонки (порожнини багатопустотної плити); l_k – глибина шпонки; f_{cd} та f_{ctd} – розрахунковий опір бетону шпонок (несучих ригелів) відповідно стисненню і розтягуванню; $\eta_1 = 1$ – при прямокутній шпонці, $\eta_1 = 0,75$ – при круглій або овальній.

Армування й обтиснення шпонок за даним методом не підвищують міцність.



Рис. 3. Сполучення плит і ригелів перекриття системи «АРКОС»

ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [3] нехтує формою перерізу, а круглу шпонку можна розрахувати, звівши її до еквівалентної

$$f_{sh,\sigma+s} = cf_{ctd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5v f_{cd},$$

де c і μ – коефіцієнти, котрі залежать від шорсткості поверхні (для шпонкового профілю $c = 0,5$, $\mu = 0,9$);

σ_n – напруження обтиснення на одиницю площі;

v – коефіцієнт зниження міцності

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right);$$

ρ – коефіцієнт армування;

f_{yd} – розрахункове значення міцності арматури на границі текучості.

Відмінною особливістю будівель серії Б1.020.1-7 є врахування при проектуванні зусиль розпору H , котрі виникають при згинанні основних несучих елементів перекриттів, таких як багатопустотні плити та несучі ригелі за умови обмеження горизонтального переміщення опор.

За [4] величина горизонтального зусилля H_{pl} , котре створює багатопустотна плита при згинанні на торцях у стиснених умовах підраховується як

$$H_{pl} = \frac{\psi(q - q_d)e_0 l_{pl}^2}{12(i^2 + e_0^2)},$$

де $\psi = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує піддатливість бетону в стиках торців плит з несучими ригелями, а також повзучість монолітного бетону в'язевих ригелів;

квадратної з висотою $0,9d$. Міцність стику обраховується як

q – повне розрахункове граничне значення навантаження на плиту;

q_d – те ж від власної ваги плити;

e_0 – відстань між центрами ваги поперечного перерізу плити та її робочої арматури;

i^2 – радіус інерції поперечного перерізу плити;

l_{pl} – її довжина.

У наявних закордонних аналогах збірно-монолітних перекриттів з використанням багатопустотних плит (навіть при більш високій організації та культурі виробництва) із міркувань безпеки не рекомендується влаштування опорних перерізів у вигляді бетонних шпонок без спеціального обґрунтування.

В Україні існує ряд патентів [5, 6], які вдосконалюють стик плити з монолітним ригелем шляхом армування шпонки плоскими або просторовими каркасами (рис. 4).

Виходячи із значення мінімального відсотку армування для залізобетонного елемента $0,05\%$, пропонуємо приймати у якості повздовжньої арматури $2 \text{ } \varnothing 3 \text{ Вр-I}$ ($A_{sw} = 14,1 \text{ мм}^2$).

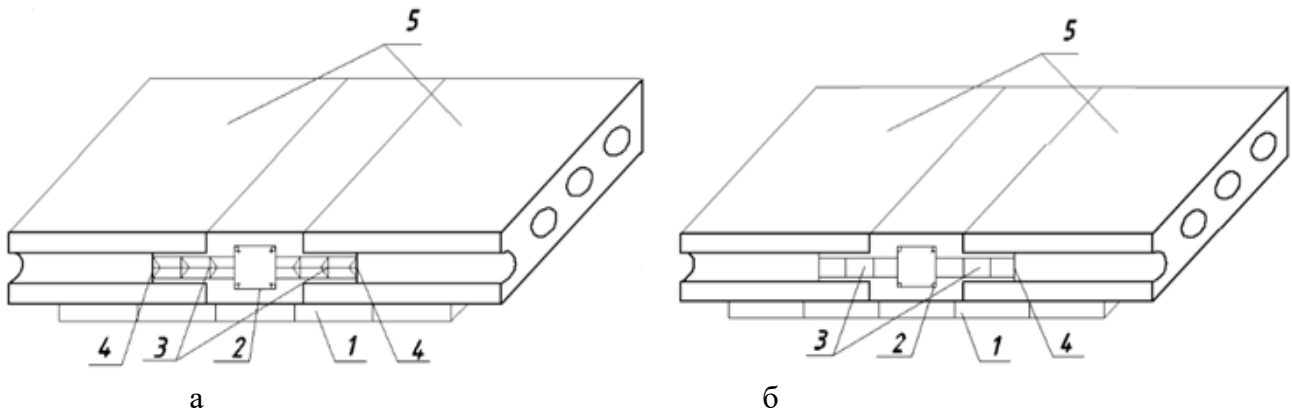


Рис. 4. Стик плити з монолітним ригелем: 1 – опалубка; 2 – просторовий каркас ригеля; 3, а – допоміжні каркаси у вигляді порожнистої трикутної піраміди; 3, б – допоміжні плоскі каркаси; 4 – обмежувачі; 5 – багатопустотна плита

Основний матеріал і результати. У Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка розроблена методика розрахунку міцності шпонкових стиків, яка базується на загальній основі – варіаційному методі теорії пластичності бетону, розглядає їх характер руйнування та враховує повну сукупність факторів впливу: опори бетону стиску f_{cd} і розтягу f_{ctd} ; параметри шпонок: l_k (глибину), h_k (висоту), b_k (ширину) й їх співвідношення l_k/h_k ; форму шпонкового профілю; кут нахилу опорної поверхні ψ (прямокутні, трапецієподібні і трикутні шпонки); рівень обтиснення σ/f_{cd} ; армування ρ_w ; кількість шпонок n_k [7].

Розглянемо приклад врахування круглого перерізу шпонок при розрахунках їх міцності.

Кінематично можлива схема руйнування круглої рівномірно обтиснутої бетонної шпонки представлена на рис. 4. Вона включає два диски: диск I

$$S^{AB} = \frac{4}{3} d \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} r; S^{BC} = \frac{4}{3} d \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} r;$$

отже

і розриви швидкостей

$$\left. \begin{aligned} \text{на площадці AB} - \Delta V_n &= V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha \\ \Delta V_t &= V_x \sin \beta + V_y \cos \beta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{на площадці BC} - \Delta V_n &= V_x \cos \beta - V_y \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

переміщується відносно диску II зі швидкістю $V(V_x, V_y)$. Диски розмежовані поверхнею руйнування ABC (поверхнею розриву швидкостей). На площадці BC діють граничні нормальні σ_u та дотичні τ_u напруження, котрі визначаються згідно умови міцності бетону Баландіна – Генієва [8], яка має просту форму запису в тензорній формі. Площадку AB вважаємо за головну із напруженнями розтягу $\sigma_u = f_{ctd}$.

Невідомими задачі є граничне навантаження q_u , кути нахилу α площадки AB і β площадки BC до вертикалі, відношення швидкостей $k = V_x / V_y$ (рис. 5).

Задачу розв'язуємо в такій послідовності:

1. Визначаємо площі ділянок руйнування:

$$S^{BC} = \frac{4}{3} BC r; S^{AB} = \frac{4}{3} AB r,$$

$$\text{де } AB = d \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, BC = d \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)},$$

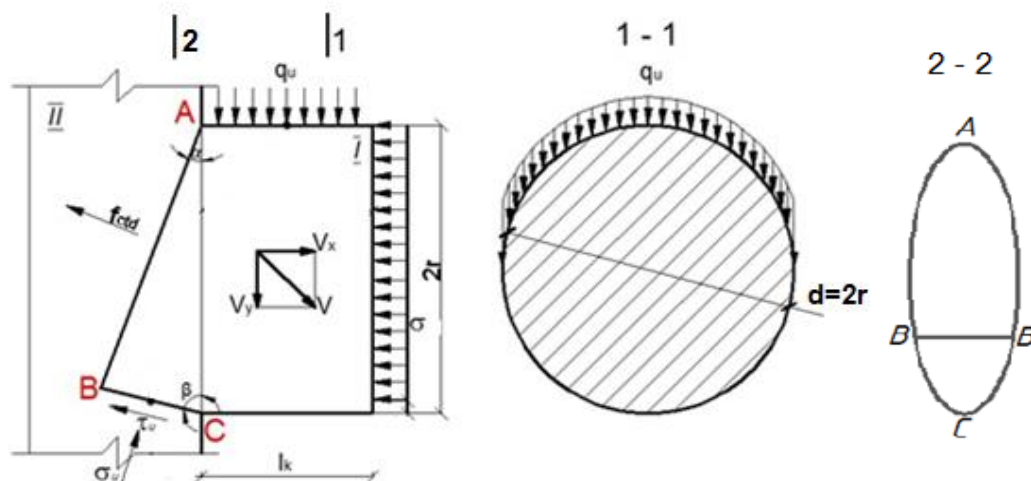


Рис. 5. Кінематично можлива схема руйнування круглих обтиснутих бетонних шпонок при зрізі

2. Записуємо функціонали методу швидкостей у бетоні знаходяться наступним

Частини виразу функціоналу, що чином:

відповідають поверхням розриву – на площадці АВ:

$$I_C^{AB} = F^{AB} V_n^{AB} = f_{ctd} \frac{4}{3} 2r \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} r (V_x \cos \alpha + V_y \sin \alpha) = f_{ctd} (k + tg \alpha) \frac{8}{3} r^2 \frac{tg \beta}{tg \alpha + tg \beta},$$

$$F^{AB} = \sigma_{AB} S^{AB} = f_{ctd} \frac{4}{3} 2r \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} r, \sigma_{AB} = f_{ctd};$$

тут рівнодійна сила розтягу

– на площадці ВС:

$$I_C^{BC} = m \left[2B \left(1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta V_t^{BC}}{\Delta V_n^{BC}} \right)^2 \right)^{0.5} - 1 \right] \Delta V_n S^{BC}.$$

$$I^{BC} = m \left[2B \left(1 + \frac{1}{4} \left(\frac{V_x \sin \beta + V_y \cos \beta}{V_x \cos \beta - V_y \sin \beta} \right)^2 \right)^{0.5} - 1 \right] \times (V_x \cos \beta - V_y \sin \beta) \frac{4}{3} 2r \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} r V_y.$$

Обтиснення враховується як зовнішнє навантаження. Існує можливість врахування нерівномірності його прикладання.

Після відповідних перетворень функціонал приймає вигляд:

$$I = m \left[2B \left(1 + \frac{1}{4} \left(\frac{ktg \beta + 1}{k - tg \beta} \right)^2 \right)^{0.5} - 1 \right] (k - tg \beta) \frac{8}{3} r^2 \frac{tg \alpha}{tg \beta + tg \alpha} + f_{ctd} (k + tg \alpha) \frac{8}{3} r^2 \frac{tg \beta}{tg \beta + tg \alpha} - q_u l_k 2r + \sigma \pi r^2 k. \quad (4)$$

$\gamma = \frac{2r}{l_k}$ напруженому стані) і знаходимо граничне навантаження:

Вводячи позначення прирівнюємо (4) до 0 (при дійсному

$$q_u = m \left[2B \left(1 + \frac{1}{4} \left(\frac{ktg \beta + 1}{k - tg \beta} \right)^2 \right)^{0.5} - 1 \right] \frac{2}{3} \gamma (k - tg \beta) \times \frac{tg \alpha}{tg \beta + tg \alpha} + f_{ctd} (k + tg \alpha) \frac{2}{3} \gamma \frac{tg \beta}{tg \beta + tg \alpha} + \frac{\pi \sigma k}{4} \gamma. \quad (5)$$

3. Визначення граничного

навантаження q_u здійснюється шляхом

пошуку мінімуму функції (4) $q_u \rightarrow \min$, що відповідає мінімальній потужності пластичної деформації.

4. У якості додаткових умов при цьому використовуємо суму моментів відносно точки В, проекцію всіх сил на вісь ОХ і обмеження $k = tg\beta$.

$$1) \sum M_B = 0: f_{ctd} S^{AB} \frac{AB}{2} + \sigma_u S^{BC} \frac{BC}{2} - q_u l_k 2r(BC \sin \alpha + \frac{l_k}{2}) + \sigma \pi r^2 (AB \cos \alpha - \frac{1}{2}) = 0; \quad (6)$$

$$2) \sum X = 0: f_{ctd} S^{AB} \cdot \cos \alpha + \tau_u S^{BC} \sin \beta - \sigma_u S^{BC} \cos \beta + \sigma \pi r^2 = 0; \quad (7)$$

$$3) k = tg\beta, \quad (8) \quad \text{де нормальні напруження, що діють на площадці BC, виражені через розриви швидкостей, записуються у вигляді}$$

$$\frac{\sigma_u}{m} = 2 \left(0,5 \pm \frac{B \Delta V_n^{BC}}{\sqrt{(\Delta V_n^{BC})^2 + 0,25(\Delta V_t^{BC})^2}} \right) \quad \text{або} \quad \frac{\sigma_u}{m} = 2 \left(0,5 \pm \frac{B(k - tg\beta)}{\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}} \right). \quad (9)$$

Аналогічно, дотичні напруження

$$\frac{\tau_u}{m} = \pm \frac{B \Delta V_t^{BC}}{2\sqrt{(\Delta V_n^{BC})^2 + 0,25(\Delta V_t^{BC})^2}} = \pm \frac{B(ktg\beta + 1)}{2\sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2}}. \quad (10)$$

Запропонована методика дозволяє одночасно врахувати обтиснення й армування шпонок (як і [3]). В цьому випадку граничне навантаження записується як

$$q_u = m \left[2B \left(1 + \frac{1}{4} \left(\frac{ktg\beta + 1}{k - tg\beta} \right)^2 \right)^{0,5} - 1 \right] \frac{2}{3} \gamma (k - tg\beta) \times \frac{tg\alpha}{tg\beta + tg\alpha} + f_{ctd} (k + tg\alpha) \frac{2}{3} \gamma \frac{tg\beta}{tg\beta + tg\alpha} + \frac{\pi \sigma k}{4} \gamma + \frac{f_{yd} A_{sw} k}{2l_k r}, \quad (11)$$

а в додаткових умовах з'являються члени, котрі враховують зусилля в арматурі.

Врахування круглого перерізу шпонки приводить до зменшення її міцності до 10 %, що свідчить про необхідність такого врахування для підвищення надійності стику.

Розглянуті можливі варіанти врахування армування й обтиснення стику з круглими шпонками за різними методиками.

В табл. 1 наведені результати розрахунку міцності стику обпирання багатопустотної плити із круглими пустотами шириною 1,5 м (7 пустот) на монолітний несучий ригель. Геометричні характеристики стику наступні: діаметр шпонки (порожнини плити) $d = 159$ мм,

глибина шпонки $l_k = 100$ мм, бетон замонолічування класу С25/30: $f_{cd} = 15,3$ МПа, $f_{ctd} = 1,08$ МПа при $\gamma_{c2} = 0,9$, величина обтиснення однієї шпонки $\sigma = 1,49$ МПа, армування $2 \text{ } \varnothing 3 \text{ Вр-I}$.

Висновок. Для розрахунку міцності стику багатопустотних плит з монолітним ригелем перекриття конструктивної системи АРКОС пропонується варіаційний метод на основі теорії пластичності бетону. Врахування круглого поперечного перерізу шпонок приводить до зменшення їх міцності до 10 %. Несуча здатність стику забезпечена з суттєвим запасом і при відповідній якості замонолічування даний стик є надійним елементом перекриття.

Порівняння міцності стику багатопустотних плити з несучим ригелем за різними методиками

Вид шпонкового з'єднання	Руйнівне навантаження, в кН при розрахунку за		
	[3]	[4]	[7]
Залізобетонне	115,1	–	202,65
Бетонне обтиснуте	265,2	353,97	341,32
Залізобетонне обтиснуте	302,17	–	364,63

Список використаних джерел

1. Гуров Е.П. Сборное домостроение. Стратегия развития / Е.П. Гуров // СтройПРОФИЛЬ, 2010. – №5 (83). – С. 8 – 11.
2. Сборно-монолитная каркасная система МВБ-01 с плоскими перекрытиями для зданий различного назначения: Серия Б1.020.1-7. – Минск: НИЭП ГП «Институт БелНИИС», 1998.
3. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Основні положення: ДСТУ Б В.2.6. – К.: НДІБК, 2010. – 156 с. (Державний стандарт України).
4. Указания по проектированию сборно-монолитного каркаса по серии Б1.020.1-7 – Приложение (А.И. Мордич (руководитель), инж. В.Н. Белевич, к.т.н. В.Н. Симбиркин).
5. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття 23418 МПК-2011.01 Е04G 23/00. / Куліченко І.І., Савицький М.В.; власник патенту – ПДАБА. – Опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7. – 1 с. : іл.
6. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття 23425 МПК-2011.01 Е04G 23/00. / Магала В. С., Савицький М. В.; власник патенту – ПДАБА. – Опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. – 2 с. : іл.
7. Довженко О.О. Методика розрахунку шпонкових з'єднань залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Ю.В. Чурса // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва». – Львів, 2013. – №755 – С. 111 – 117.
8. Гениев Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор Винников Ю.Л.

Довженко Оксана Олександрівна, к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Е-пошта: O_O_Dovzhenko@mail.ru

Погрібний Володимир Володимирович, к.т.н., старший науковий співробітник, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Е-пошта: V.V.Pogrebnoy@mail.ru

Чурса Юлія Володимирівна, аспірант кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Е-пошта: Jyulia21@mail.ru

Dovzhenko Oksana is Ph.D., Associate Professor of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: O_O_Dovzhenko@mail.ru

Pogrebnoy Vladimir is Ph.D., Associate Professor of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: V.V.Pogrebnoy@mail.ru

Chursa Julia is Post-graduate student of department of reinforced-concrete and stone constructions and resistance of materials of the Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail: Jyulia21@mail.ru

Стаття прийнята 03.07.2015 р

УДК 666. 983

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КЛАПАНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОНСТРУКЦИЯХ ПОРШНЕВЫХ БЕТОНОНАСОСОВ

Д-р техн. наук А.Ю. Крот

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКІВ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КЛАПАНІВ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ У КОНСТРУКЦІЯХ ПОРШНЕВИХ БЕТОНОНАСОСІВ

Д-р техн. наук О.Ю. Крот

USING FLOW MODELLING FOR COMPARISON CAPACITY VALVE THAT USE IN PISTON CONCRETE PUMPS

DSc O. Krot

Рассмотрены неуправляемые клапаны, которые используются в поршневых бетононасосах (шаровые и тарельчатые). Моделирование выполнялось методом конечных элементов уравнениями Навье-Стокса и неразрывности потока. Подтверждена вдвое большая пропускная способность шарового клапана. Скорость вблизи стенки в канале с тарельчатым клапаном втрое больше скорости для шарового. Это вызовет износ стенки тарельчатого клапана. Предложено конструктивное решение уменьшения износа стенки.

Ключевые слова: бетононасос, тарельчатые и шаровые клапаны, метод конечных элементов, Навье-Стокса, моделирование

Розглянуто некеровані клапани, що використовуються в поршневих бетононасосах (кульові і тарілчасті). Моделювання виконувалося методом кінцевих елементів рівняннями Навье-Стокса і нерозривності потоку. Підтверджена удвічі більша пропускна здатність кульового клапана. Швидкість поблизу стінки в каналі з тарілчастим клапаном утворює більше швидкості для кульового. Це викликає знос стінки тарілчастого клапана. Запропоновано конструктивне рішення зменшення зносу стінки.

Ключові слова: бетононасос, тарілчасті і кульові клапани, метод кінцевих елементів, Навье-Стокса, моделювання.

Was analyzed variants of valves, which are used in piston concrete pumps. Comparison unguided valve based on the results of simulation of the motion flows in pipes, provided with the valves in open position. Modeling was performed using finite element method for large-scale virtual 3D-model using the Navier-Stokes equations and the continuity of flow. It was determined flow rates and pressure in the cross sections at the inlet and outlet channels valves. Was confirmed double the bandwidth of a ball valve plate than with comparable geometric dimensions. Velocity near the wall in the channel with the poppet valve corresponding to three times the speed for the ball valve. This will cause that the pipe wall after the poppet valve is worn out 9 times faster than in the embodiment with a ball valve. Was proposed a constructive solution to reduce wear the walls of the poppet valve.

Keywords: concrete, plate and ball valves, the finite element method, Navier-Stokes equations, modeling.

Введение.

Обязательным компонентом современной стройки является бетононасос. Довольно популярными бетононасосами

являются поршневые бетононасосы. Они обладают множеством преимуществ в сравнении с другими, в частности, они способны обеспечивать большое давление в

напорном трубопроводе. Это преимущество является существенным в высотном строительстве, а также в таких технологиях укладки бетона, как торкретирование.

Постановка проблемы в общем виде.

Поршневой бетононасос представляет собой один или несколько цилиндрических поршневых нагнетателя с системой подачи в них бетона и системами, предотвращающими обратный ход бетонной смеси при обратном ходе поршня (обычно это клапаны) [1, с.330]. Клапаны могут быть как управляемыми (приводимыми в движение от привода, синхронизированного с движением поршней), так и неуправляемыми. Последние хоть и уступают управляемым из-за меньшего к.п.д. насоса, однако обладают важным преимуществом – простотой изготовления и стоимостью.

Цели и задачи исследований.

В данной работе два варианта неуправляемых клапана (шаровый и тарельчатый, зафиксированный на шарнирной оси) с целью выявления достоинств и недостатков каждого из них рассмотрены с точки зрения меньшего сопротивления и большей скорости прохождения бетона через открытый клапан. Сравнение клапанов основывалось на

результатах моделирования движения потоков в трубах, снабженных этими клапанами в открытом положении. Для создания одинаковых условий при моделировании трубы с клапанами соединены с одним общим источником среды и расположены на равном расстоянии от источника; обе трубы имеют горизонтальное расположение (рис. 1).

Основная часть.

3D-модель создана в системе Компас-3D, экспортирована в файл стереолитографии (*.stl), импортирована в программу анализа потоков. Для моделирования процесса применялась система моделирования движения жидкости и газа Flow Vision, основанная на методе конечных элементов. Версия программы с ограниченной функциональностью распространяется бесплатно. Ограничение функционала проявляется в ограниченном количестве конечных элементов.

Среда моделировалась как несжимаемая жидкость [вода плотностью 1000 кг/м³, молекулярная масса 18 а.е.м. (атомных единиц массы, H₂O /1+1+16/), молекулярная вязкость (коэффициент динамической вязкости при 20⁰С) 0,001Па*с].

Модель основана на уравнении Навье-Стокса.

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \nabla(\rho V \times V) = -\nabla P + \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)) + S$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0$$

где источник S равняется:

$$S = (\rho - \rho_{hyd})g + \rho B + R$$

Здесь $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность; $V, \frac{\text{м}}{\text{с}}$ -

скорость; ∇ - оператор Гамильтона (набла оператор); $P, \text{Па}$ – давление;

$\mu, \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$ - вязкость; $\mu_t, \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$ -

турбулентная кинематическая вязкость,

$B, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ - составные от сил вращения

(Кориолиса и центробежной),

$$B = -2\omega \times V - \omega \times \omega \times r; \omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

угловая скорость; $r, \text{м}$ - радиус.

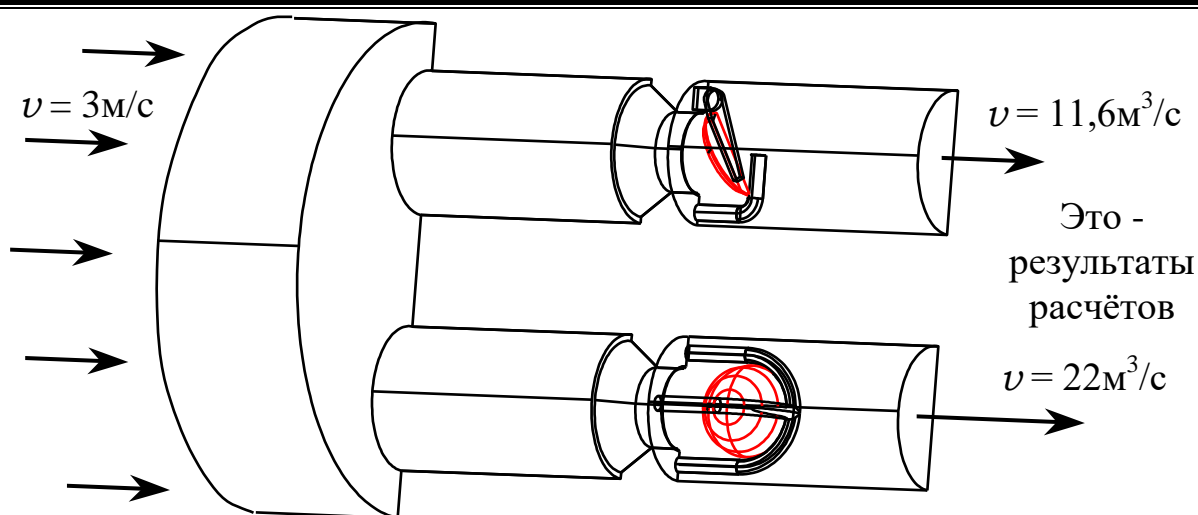


Рис. 1. Схема подключения труб с клапанами к емкости (входу)

В соответствии с методом конечных элементов, все исследуемое пространство разбивается на определенное количество элементарных участков (рис. 2), в каждом из которых в соответствии с выбранной моделью, свойствами вещества, начальными условиями и др. рассчитывается состояние. К характеристикам состояния каждого элемента относятся давление, скорость (в любом направлении), концентрация, плотность, температура и др. Любая из этих характеристик после процедуры расчета может быть отображена на участках модели в виде графика, заливки или в другом удобном наглядном виде.

Размеры исследуемых клапанов – на рис. 3.

Проверка адекватности модели основана на сравнении производительности на входе в систему и на выходе из неё.

Средняя скорость на выходе 3 м/с ;
 расход $v \cdot \pi \cdot R^2 = 3 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 = 0,212\text{ м}^3/\text{с}$
 $0,074 + 0,14 = 0,214\text{ м}^3/\text{с}$ ($\approx 0,212\text{ м}^3/\text{с}$) –

проверка «сплошности» потока подтверждает адекватность моделирования.

Выводы.

1. В результате моделирования каналов с двумя открытыми клапанами разного типа подтверждена вдвое большая пропускная способность шарового клапана, чем тарельчатого при сопоставимых геометрических размерах (средняя скорость 22 м/с у шарового клапана против $11,6\text{ м/с}$ у тарельчатого).

2. Скорость вблизи стенки в канале с тарельчатым клапаном втрое больше соответствующей скорости для шарового клапана [33 м/с (рис. 4,б) и 11 м/с (рис. 4,в)]. Это, очевидно, приведет к тому, что стенка трубы после тарельчатого клапана будет изношена в 9 раз быстрее, чем в варианте с шаровым клапаном (пропорционально кинетической энергии потока).

3. Возможным решением проблемы снижения пропускной способности тарельчатого клапана может быть устройство зоны расширенного сечения канала (устройство расширителя, рис. 5). Эффективность такого решения может быть подтверждено моделированием (моделирование пока не выполнялось).

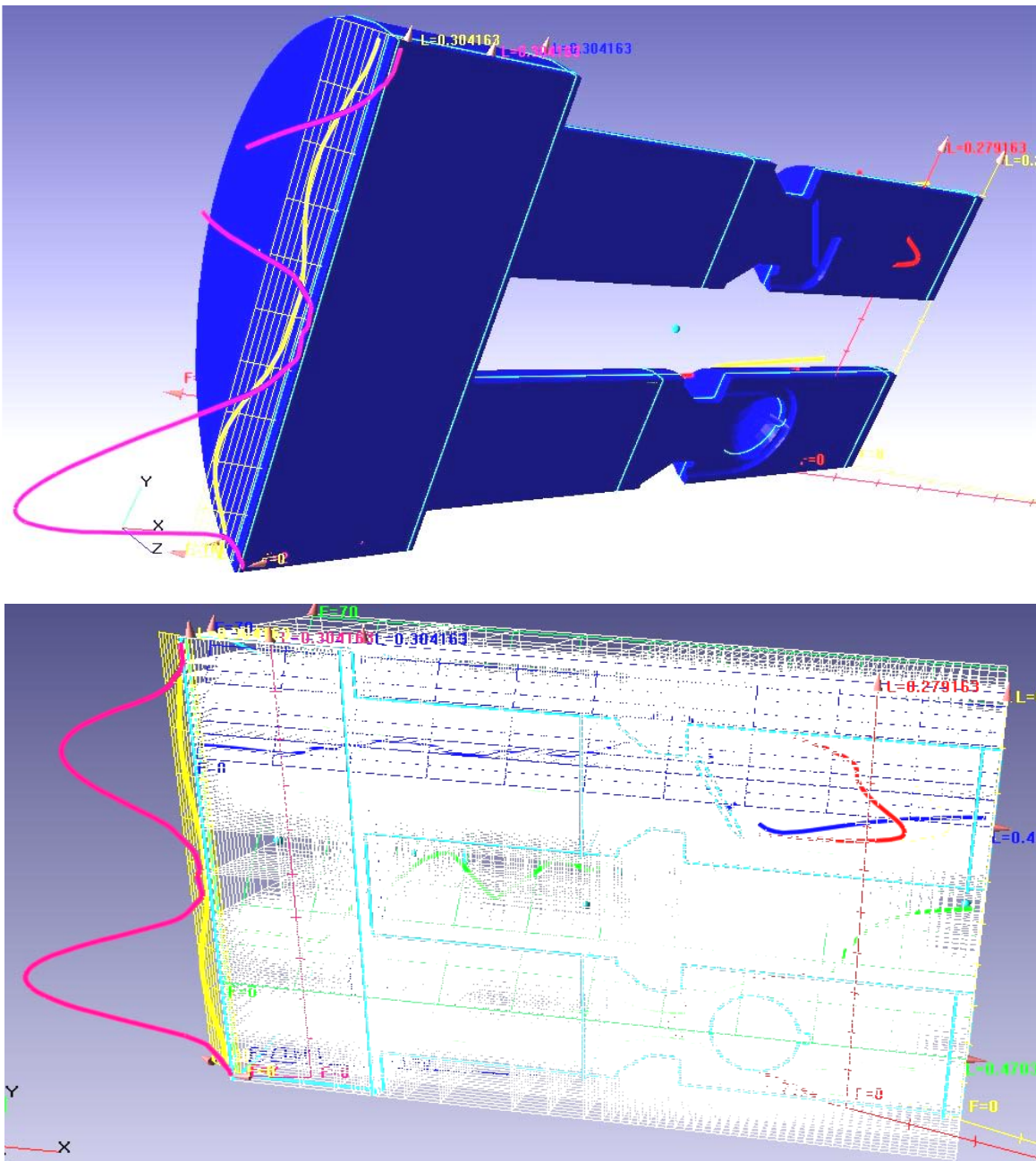


Рис. 2. 3D-модель и расчетная сетка

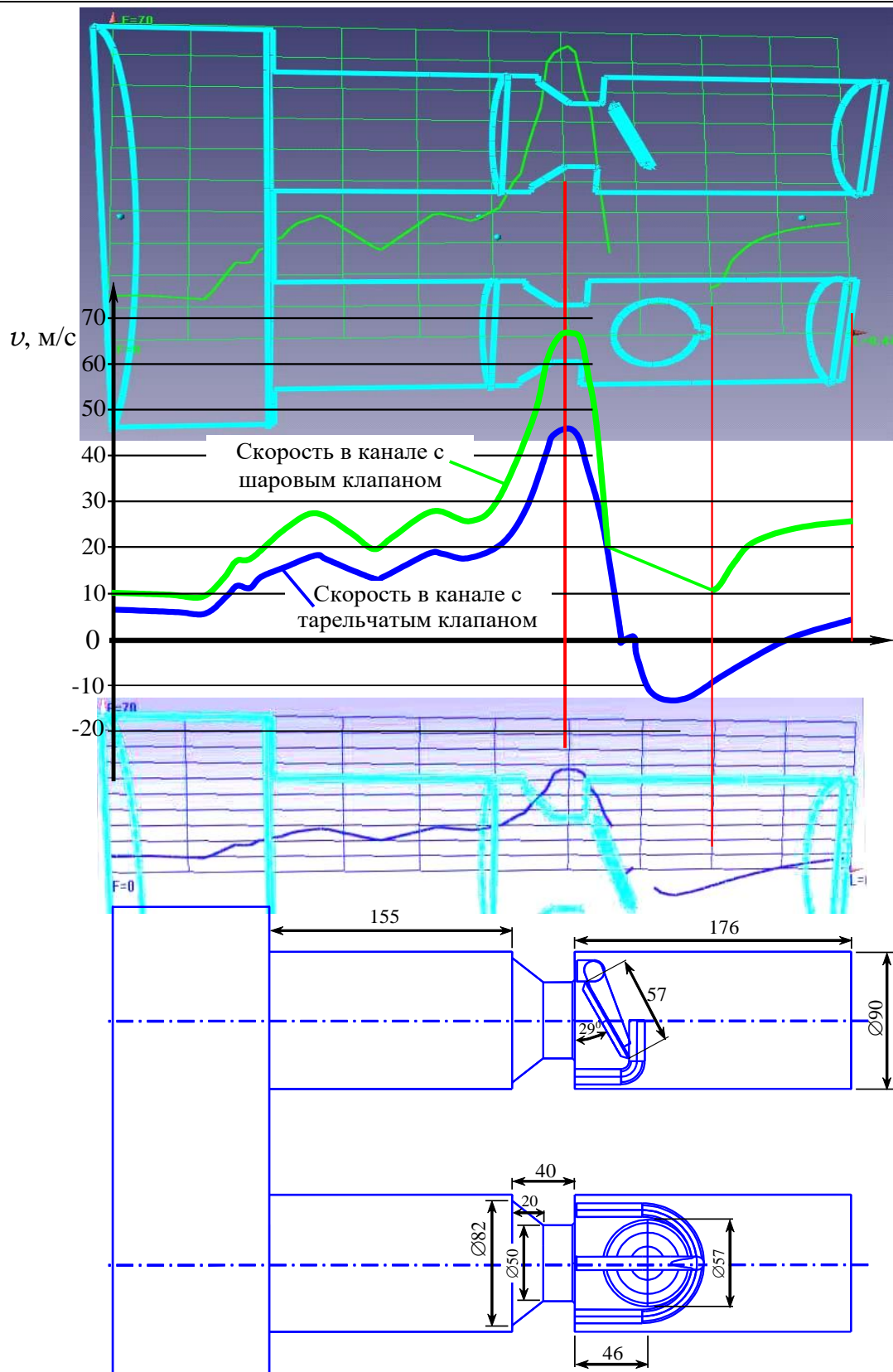


Рис. 3. Эпюры скоростей в каналах с клапанами и размеры клапанов

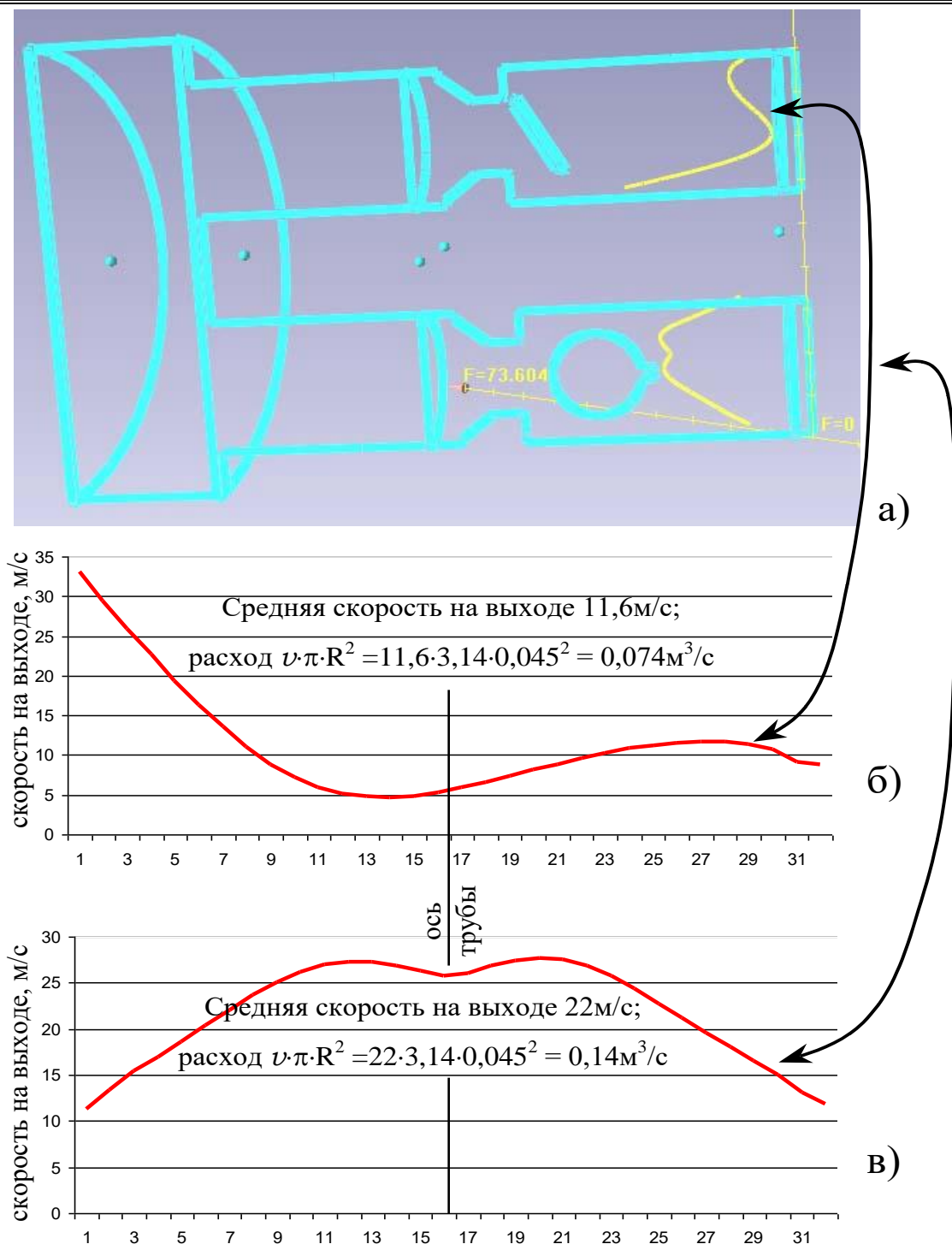


Рис. 4. Скорости потоков на выходе из клапанов:

- а) общая схема;
- б) тарельчатый клапан;
- в) шаровый клапан.

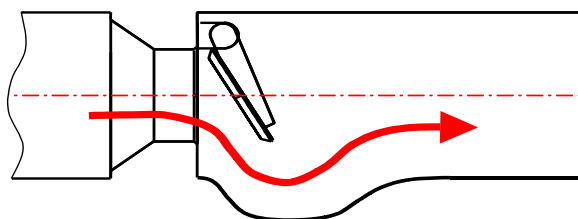


Рис. 5. Расширитель в канале после тарельчатого клапана

1. Строительные и дорожные машины и основы автоматизации : учебное пособие / И.Ф. Дьяков; /Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 516 с.

Крот Александр Юльевич – д.т.н., профессор кафедры механизации строительных процессов, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА), Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; tanko_drom@rambler.ru; +38 (057) 7000282.

Krot Oleksandr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanization of Construction Processes, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (KhNUSA), 40 Sums'ka St., Kahrkiv, 61002, Ukraine; tanko_drom@rambler.ru; +38 (057) 7000282.

Стаття прийнята 05.06.2015 р

УДК 621.926

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУТЕРОВКИ ТРУБНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Кандидаты техн. наук Н.Д. Балера, канд. техн. наук Н.Г. Емельяненко,
В.В. Горголюк, асп. П.А. Хахалев

УДОСКОНАЛЕННЯ ФУТЕРОВКИ ТРУБНОГО КУЛЬОВОГО МЛИНА

Канд. техн. наук М.Д. Балера, канд. техн. наук М.Г. Ємельяненко,
В.В. Горголюк, асп. П.А. Хахалев

IMPROVEMENT OF THE LINING TUBE BALL MILL

Cand. of techn. sciences N. Balera, cand. of techn. sciences N. Emelianenko,
V. Gorgolyuk, Postgraduate P. Nahalev

Дано обоснование эффективности применения волнисто-угловой футеровки для трубной шаровой мельницы на основании моделирования движения мелющих тел. Получены зависимости кинетической, потенциальной и общей энергии мелющих тел от высоты футеровки при различной частоте вращения барабана. Выявлены диапазоны рациональных параметров (частоты вращения барабана и высоты волны футеровки), при которых эффективно применение волнисто-угловой футеровки барабана трубной шаровой мельницы.

Ключевые слова: трубные шаровые мельницы, мелющие тела, футеровка.

Наведено обґрунтування ефективності використання хвилясто-кутової футеровки трубного кульового млина на основі моделювання руху тіл для помелу клінкеру. Одержано залежності кінетичної, потенційної та загальної енергії тіл для помелу від висоти футеровки при різних частотах обертання барабану. Знайдено діапазони раціональних параметрів (частоти обертання барабана та висоти хвилі футеровки), при яких використання хвилясто-кутової футеровки є ефективним.

Ключові слова: трубні кульові млини, мелючі тіла, футеровка.

The ground of efficiency of application of wavy angular lining-up is given for a pipe ball mill on the basis of design of motion grinding a tel. The calculations conducted in the programmatic package of EDEM substantially reduce costs at planning of equipment, as all experimental tests of machine are conducted through a computer design. The programmatic package of EDEM is based on the method of discrete element – numeral method for the calculation of motion of large number of particles that is generalization of method of eventual elements. The article contains the result of design of motion of grindings bodies in a mill of 2,6 x 1,0 m with the wavy-angular lining-up of

drum. Dependences of kinetic, potential and general energy of drinking bodies are got on the height of lining-up at different frequency of rotation of drum. With the increase of frequency of rotation of drum from 0,7 to 0,8 her critical value kinetic energy of drinking bodies at any height of wave of lining-up increases, and potential energy gas down.

Keywords: pipe ball mills, grindings bodies, lining-up.

Введение. Статья относится к исследованиям, направленным на совершенствование конструкций и методик расчёта цементных трубных шаровых мельниц (ТШМ). В ТШМ во всем мире измельчается до 90% клинкера, на что тратится 8% мирового потребления энергии. Внутримельничные устройства позволяют повысить эффективность шаровых трубных мельниц [1, 2]. Важную роль среди внутримельничных устройств занимает футеровка, которая способна обеспечить рациональный режим работы мелющих тел. Об актуальности вопроса совершенствования футеровки говорит факт наличия более 150 видов футеровки.

Анализ последних исследований и публикаций.

На сегодняшний день особенно остро стоят вопросы энергетической эффективности производства, в том числе с использованием ТШМ [3-4]. Все больше внимания уделяется моделям футеровок, которые способны обеспечить рациональный (скоростной) режим работы мелющих тел [3-6]. Геометрические и прочностные характеристики футеровки влияют на количество потребляемой энергии при измельчении, расход мелющих тел и периодичность техобслуживания [5-6]. Поэтому важно подобрать рациональные параметры плит, позволяющие достигнуть требуемой эффективности измельчения и заданного качества цемента, при этом уменьшив износ оборудования.

Износ футерующих плит зависит от их геометрических параметров и влияет на технико-эксплуатационные характеристики мельницы. Исследователи и практики, в том числе дальнего зарубежья [7-9], постоянно совершенствуют методы исследования и конструкции футеровки ТШМ.

Наиболее распространенными конструктивными формами плит для футеровки цилиндрической части барабана шаровых мельниц являются ступенчатые и волнистые.

Для определения оптимальных геометрических параметров футеровки многими фирмами используется программный комплекс EDEM [10], который базируется на методе дискретных элементов – численном методе для расчета движения большого числа частиц. Полное моделирование движения мелющих тел с учетом их массовых характеристик позволяет подобрать наилучшие геометрические параметры футеровки и рациональный режим работы мельницы.

Целью исследования является научное обоснование эффективности применения волнисто-угловой футеровки барабана ТШМ.

Основная часть исследования. Работа содержит результаты моделирования движения мелющих тел в мельнице 2,6x1,0 м с волнисто-угловой футеровкой барабана при следующих исходных данных:

- *основные:* диаметр мельницы $D = 2,6$ м; длина мельницы $L = 1,0$ м; диаметр шара $d_{ш} = 80$ мм = 0,08 м;

- *дополнительные:* критическая частота вращения $n_{кр} = 26,97$ мин⁻¹; рабочая частота вращения мельницы $n = 20,50$ мин⁻¹; масса мелющих тел – 6264 кг.

На первом этапе численного эксперимента проведен расчет параметров движения шаровой загрузки мельницы, футерованной волнисто-угловыми бронеплитами при частоте вращения барабана: $0,7n_{кр}$; $0,76n_{кр}$; $0,8n_{кр}$. Геометрические параметры таких плит соответствуют параметрам футеровки, используемой в первой камере измельчения ТШМ 2,6x13 м (рис. 1 а).

Следующим этапом моделирования движения мелющих тел с учетом их массовых характеристик было увеличение

высоты волны футеровки (рис. 1 б) на $0,1 d_{ш}$; $0,2 d_{ш}$ и расчет составляющих энергии мелющих тел при различной частоте

вращения: $0,7 n_{кр}$; $0,76 n_{кр}$; $0,8 n_{кр}$ ($18,88 \text{ мин}^{-1}$; $20,50 \text{ мин}^{-1}$; $21,58 \text{ мин}^{-1}$).

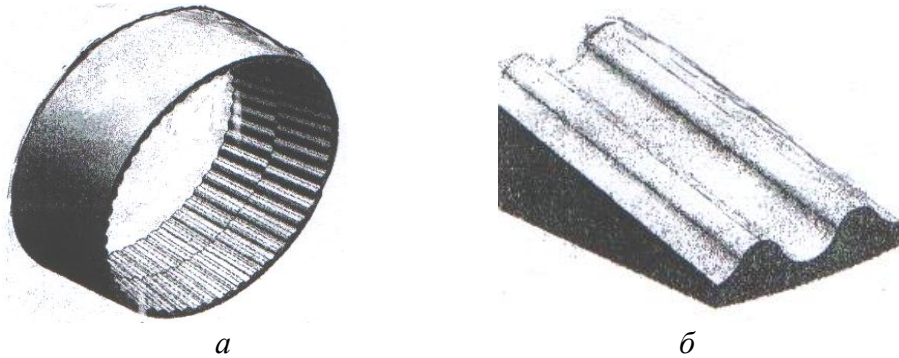


Рис. 1 – Волнисто-угловая футеровка барабана трубной мельницы

Путем моделирования движения мелющих тел внутри барабана с волнисто-угловой футеровкой получены следующие результаты (табл.1 и рис.2).

Из табл. 1 и рис. 2а видно, что с увеличением частоты вращения барабана от $0,7n_{кр}$ до $0,8n_{кр}$ кинетическая энергия E_k мелющих тел при любой высоте волны футеровки возрастает. Очевидно, что

изменение кинетической энергии мелющих тел пропорционально квадрату отношений частот вращения барабана (сравнить значения в скобках столбца 1 табл. 1 и столбцов 2, 5 и 8):

$$\left(\frac{E_{Ki}}{E_{K1}} \right) = f \left\{ \left(\frac{n_i}{n_1} \right)^2 \right\}$$

Таблица 1

Изменение кинетической (E_k), потенциальной ($E_{п}$) и общей (E) энергии мелющих тел, Дж

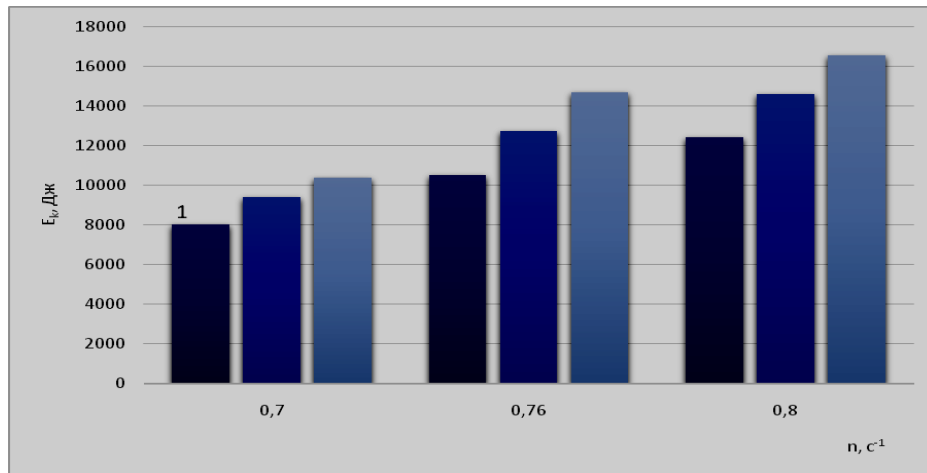
Частота вращения n_i , $\left[\left(\frac{n_i}{n_1} \right)^2 \right]$	Высота волны футеровки								
	$h_{исх}$ (1)			$h_{исх}+0,1d_{ш}$ (2)			$h_{исх}+0,2d_{ш}$ (3)		
	E_{Ki} $\left(\frac{E_{Ki}}{E_{K1}} \right)$	E_{Pi} $\left(\frac{E_{Pi}}{E_{P1}} \right)$	E_i $\left(\frac{E_i}{E_1} \right)$	E_{Ki} $\left(\frac{E_{Ki}}{E_{K1}} \right)$	E_{Pi} $\left(\frac{E_{Pi}}{E_{P1}} \right)$	E_i $\left(\frac{E_i}{E_1} \right)$	E_{Ki} $\left(\frac{E_{Ki}}{E_{K1}} \right)$	E_{Pi} $\left(\frac{E_{Pi}}{E_{P1}} \right)$	E_i $\left(\frac{E_i}{E_1} \right)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n_1=0,7n_{кр}$ [1,00]	8033 (1,00)	27600 (1,00)	35633 (1,00)	10910 (1,00)	24430 (1,00)	35340 (1,00)	12430 (1,00)	22635 (1,00)	35065 (1,00)
$n_2=0,76n_{кр}$ [1,18]	9480 (1,18)	26200 (0,95)	35680 (1,00)	12734 (1,17)	22650 (0,93)	35384 (1,00)	14634 (1,18)	20510 (0,91)	35144 (1,00)
$n_3=0,8n_{кр}$ [1,30]	10400 (1,29)	25520 (0,92)	35920 (1,01)	14714 (1,35)	20860 (0,85)	35574 (1,01)	16575 (1,33)	18742 (0,83)	35317 (1,01)

С увеличением высоты волны футеровки на $0,1d_{ш}$ кинетическая энергия E_k при частоте вращения $n=0,7n_{кр}$ возрастает на 29% от исходного значения и при $n=0,8n_{кр}$ – на 41%. При следующем увеличении высоты волны футеровки (на $0,2d_{ш}$) E_k при $n=0,7n_{кр}$ возрастает на 14% и при $n=0,8n_{кр}$ – на 13%, т. е. существенное увеличение высоты волны

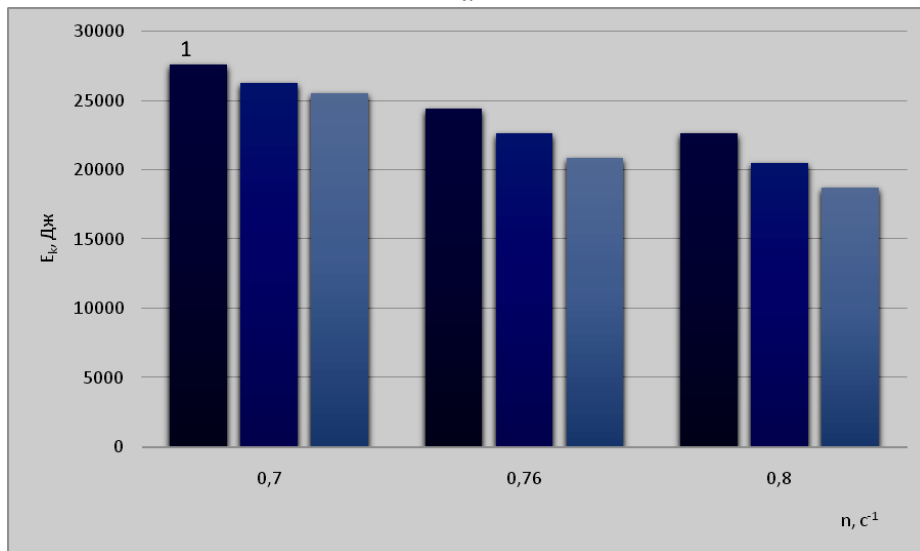
футеровки не позволяет заметно увеличить кинетическую энергию мелющих тел.

Из табл. 1 и рис. 2б следует, что увеличение частоты вращения барабана от $0,7n_{кр}$ до $0,8n_{кр}$ приводит к снижению потенциальной энергии $E_{п}$ мелющих тел при любой высоте волны. При этом максимальному значению $E_{п}$ соответствует исходная (минимальная) высота волны

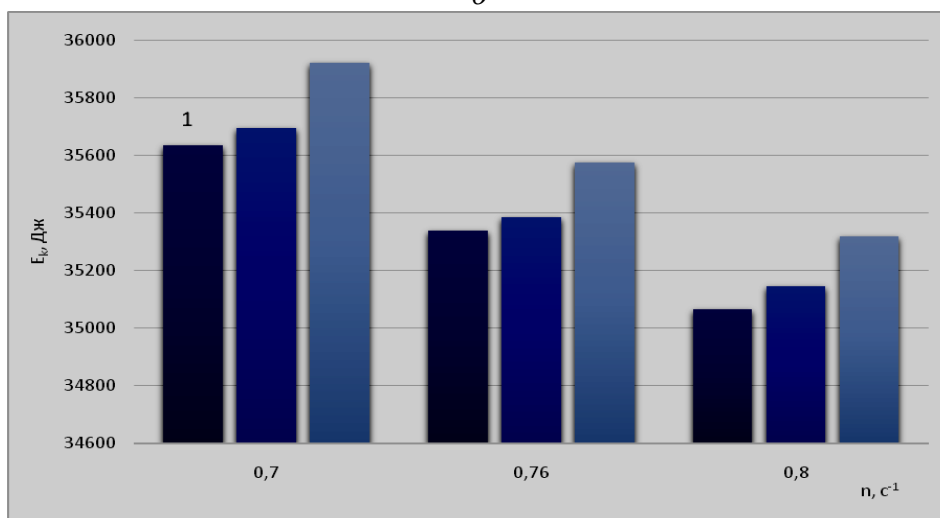
футеровки. Для исследуемого диапазона параметров мельницы и футеровки общая энергия измельчения достигнет своего максимума при частоте вращения барабана $0,8n_{кр}$ и при исходной высоте волны футеровки.



a



б



в

Рис. 2 – Зависимость кинетической (*a*), потенциальной (*б*) и общей (*в*) энергии мелющих тел от изменения высоты футеровки при различной частоте вращения барабана

Выводы:

1. Моделирование движения мелющих тел в мельнице с волнисто-угловой футеровки позволило получить зависимости кинетической, потенциальной и общей энергии мелющих тел от изменения высоты футеровки при различной частоте вращения барабана.

2. Результаты исследования выявили диапазоны параметров (частоты вращения барабана и высоты волны футеровки), при которых эффективно применение волнисто-угловой футеровки барабана трубной шаровой мельницы.

Список использованных источников

1. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций [Текст] / М.Я. Сапожников. – М.: «Высш. школа», 1971. – 382 с.
2. Пироцкий В.З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация [Текст] / В.З. Пироцкий. – СПб. – Изд-во ЦПО Информатизация образования, 1999. — 145 с.
3. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы с поперечно-продольным движением загрузки [Текст] / В.С. Богданов. – Белгород, 2002. – 254 с.
4. Богданов В. С. Оптимизация процесса помола в производстве цемента [Текст] / В.С. Богданов, Р.Р. Шарапов, Ю.М. Фадин // Междунар. конгресс производителей цемента 9-12 октября 2008 г. в Белгороде: сб. докл. – М.: Европейский технич. ин-т, 2008. – С. 20-39.
5. Иванов А.Н. Основные принципы усовершенствования шаровых барабанных мельниц [Текст] / А.Н. Иванов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2003. – С. 96-101.
6. Иванов А.Н. Закономерности энергетического режима работы мелющей загрузки трубных мельниц [Текст] / А.Н. Иванов // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: ХДПУ. – 2000. – №1. – С. 8-12.
7. Cement News [Текст] // Cement International. – 2003. – № 6. – Р. 2-3.
8. Cimento Nationale converts two existing cement mill to combi-grinding system [Текст] // International Cement Review. September. – 2001. – Р. 30.
9. De la Foucyardiere, R. Betriebserfahrungen mit der Horomill fuer die Zementmahlung [Текст] / de la R. Foucyardiere // cement International. – 2003. – № 56. – Р. 44-49.
10. Ельцов М.Ю. Исследование эффективности режимов работы шаровых барабанных мельниц в зависимости от конструктивных параметров в программном комплексе EDEM [Текст] / М.Ю. Ельцов, А.А. Козлов, О.В. Тимофеева // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвузовский сборник статей. – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – С. 490-496.

Рецензент д-р техн. наук Сопов В.П.

Балера Николай Дмитриевич канд. техн. наук, профессор кафедра механизации строительных процессов Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Тел.: (057) 700-02-82.

Емельяненко Николай Григорьевич канд. техн. наук, профессор кафедра механизации строительных процессов Харьковский национальный университет строительства и архитектуры. Тел.: (057) 70-00-282.

Горголюк Виталий Викентьевич генеральный директор АТ «Евроцемент-Украина». Тел.: (057) 70-00-282.

Хахалев Павел Анатолиевич аспирант Белгородский государственный технологический университет имени В.Г.Шухова. Тел.: (4722) 30-99-39.

Balera Nicolay Dmitrievich candidate of engineering sciences, professor department of mechanization of building processes Kharkov national university of building and architecture. Tel.: (057) 700-02-82.

Emelianenko Nicolay Grigorievich candidate of engineering sciences, professor department of mechanization of building processes Kharkov national university of building and architecture. Tel.: (057) 700-02-82.

Gorgolyuk Vitaly Vikentievich director general AT «Euro cement-Ukraine». Tel.: (057) 70-00-282.

Hahalev Paul Anatolievich graduate student of the Belgorod state technological university of the name V.G. Shuchov. Tel.: (4722) 30-99-39.

Стаття прийнята 25.05.2015 р

УДК 528.067.4

СТРУКТУРНІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІСТОБУДІВНОЇ МОДЕЛІ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Канд. техн. наук О.В. Доброходова

СТРУКТУРНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Канд. техн. наук О.В. Доброходова

STRUCTURAL RELATIONSHIP OF URBAN PLANNING MODEL RESIDENTIAL BUILDINGS

Cand. Of techn. Sciences O. Dobrokhodova

Ключевым объектом населенного пункта является жилое здание. В статье рассмотрены структурные взаимосвязи градостроительной модели жилого здания. Сформулированы общие принципы построения трехмерных моделей жилых зданий пригодных для использования в градостроительном кадастре.

Ключевые слова: *трехмерная модель, база данных, градостроительный кадастр*

Ключовим об'єктом населеного пункту є житлова будівля. У статті наведені структурні взаємини містобудівної моделі житлового будинку. Сформульовані загальні принципи побудови тривимірної моделі житлового будинку, яка придатна у використанні в містобудівному кадастрі.

Ключові слова: *тривимірна модель, база даних, містобудівний кадастр.*

The key object of the village is a residential building. With it provided almost all the needs of the population. The functioning of the residential building provides sustainable human settlements development. The article describes the structural relationship of urban planning model of a residential building. The structure of a residential building can be represented as a three-dimensional virtual model of the spatial structure describing the relationship between the structural elements of the building. One of the possible ways to describe the virtual model is the use of graphics library OpenGL. Sformulirovaniy general principles of three-dimensional models of residential buildings suitable for use in urban cadastre

Keywords: *three-dimensional model, database, urban cadastre*

Вступление.

Как нам известно в настоящее время очень остро стоит проблема ведения картотек, банков и баз данных функционирования жилого здания, которые создаются отдельными органами государственной власти и местного самоуправления. Указанные базы данных часто содержат дублирующую информацию. Они имеют разную структуру, используют разные серверы баз данных. Указанные факторы затрудняют управление городским хозяйством.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Ключевым объектом населенного пункта является жилое здание. С его помощью обеспечиваются практически все потребности населения (социально-культурные, бытовые, духовные, производственные). Функционирование жилого здания обеспечивает устойчивое развитие населенного пункта. Бесперебойное поступление средств в государственный и местный бюджеты [1-3]. А также благосостояние населения. Таким образом *жилое здание* представляет собой

комплексное понятие включающее в себя иные факторы (рис. 1).
технические, юридические, экономические и



Рис. 1 Интегральные свойства здания

Эти факторы находят отображение в системе картотек, банков и баз данных которые создаются отдельными органами государственной власти и местного самоуправления [4]. Указанные базы данных часто содержат дублирующую информацию. Они имеют разную структуру, используют разные серверы баз данных. Указанные факторы затрудняют управление городским хозяйством.

Анализ последних исследований и публикаций.

Для повышения эффективности принятия управленческих решений необходимо применение интегральных решений на базе систем пространственной информации (ГИС). ГИС системы содержат информацию о пространственных объектах (Spatial database) – точках, линиях, полилиниях, областях, к которой “привязана” атрибутивная информация. ГИС системы строятся на базе пакета прикладных программ ESRI ARCGIS, MAP info и др. В большинстве случаев указанные пакеты оперируют понятием области или

поверхности (для отображения рельефа). Жилое здание представляет собой сложную пространственную структуру, для отображения которой необходимо применение иных подходов, нежели те, что приняты в стандартных пакетах ГИС.

Целью исследований. Было исследование структуры жилого здания, которая может быть представлена в виде трехмерной пространственной виртуальной модели описывающей структурные взаимосвязи между конструктивными элементами здания.

Основной материал исследований. Одним из возможных способов описания виртуальной модели является применение графической библиотеки OpenGL. Для представления пространственной информации в графической библиотеке имеются такие примитивы GL_Points (точка), GL_Line (линия), GL_Line_Strip (ломаная), GL_Triangles (треугольник), GL_Polygon (многоугольник). Эти объекты позволяют полностью описать пространственную модель здания, которая

служит основой для наполнения ее семантической информации о роли здания в системе градостроительной модели. Например (рис.2), здание состоит из системы

полигонов $GL_Polygon_1, GL_Polygon_2, \dots, GL_Polygon_N$ имеющих атрибуты тип объекта, материал объекта и др.

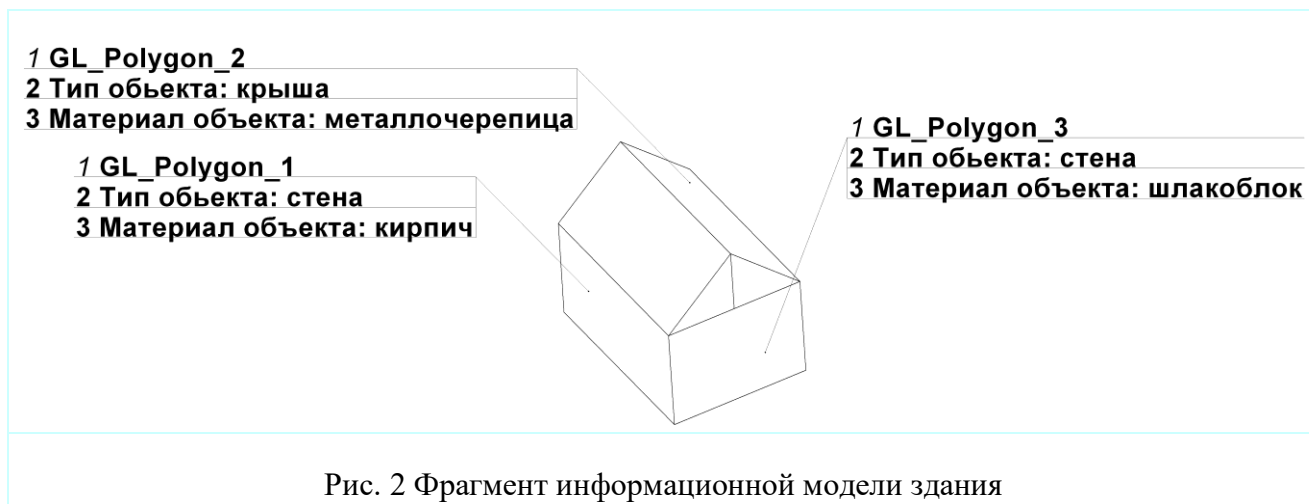


Рис. 2 Фрагмент информационной модели здания

Инженерные сети здания могут быть представлены системой ломаных кривых ($GL_Line_Strip_1, GL_Line_Strip_2, \dots, GL_Line_Strip_N$) с соответствующими атрибутами (диаметр и материал трубы, степень износа трубы). Наличие пространственной структуры инженерных коммуникаций позволяет моделировать поведение трубопроводных и кабельных систем, прогнозировать перегрузки и гидравлические удары, устанавливать возможность подключения дополнительных линий.

Для обеспечения свободного доступа к данным о свойствах объектов жилой среды они должны содержаться в упорядоченных структурах данных. К таким структурам данных относят:

- электронные таблицы;
- базы данных;
- индексированные структуры данных

(XML). Электронные таблицы (Excel, OpenOffice.org Calc) представляют собой простейше структуры данных, в которых каждому элементу данных соответствует ячейка с определенным индексом. Электронные таблицы имеют развитые средства математической обработки данных, часто используются в качестве платформы для выполнения экономических и инженерных расчетов. В электронных таблицах информация часто дублируется,

что приводит к ее избыточности и увеличению объемов файлов, возможности регламентирования доступа к отдельным элементам затруднена. Невозможно использование единого динамического информационного пространства многими пользователями и совместное использование разнородных таблиц.

Лишены указанных выше недостатков реляционные базы данных – система числовых, семантических, логических данных пользователя (отдельные записи в базе данных), содержащая информацию о логических и структурных взаимосвязях между этими данными. Структурные взаимосвязи между данными устанавливаются с использованием метаданных (рисунок) (те данных, устанавливающих наиболее общие связи в структурах данных пользователя) и индексы – короткие ссылки на отдельные записи в базе данных. Доступ к данным осуществляется с использованием системы управления базами данных СУБД (СУБД (Oracle, Microsoft Access, MySQL, PostgreSQL) предназначены для проектирования и обработки запросов к базе данных (рис. 3).

Некоторые из указанных серверов данных распространяются бесплатно, например MySQL, PostgreSQL, что значительно снижает стоимость разработки и обслуживания компьютеризированных

Будівельні матеріали, конструкції та споруди

систем на их основе. В отличии от электронных таблиц операции анализа, формирования отчетов, графиков, вычислительные операции с данными выполняются в специализированных приложениях, которые разрабатываются с учетом требований, предъявляемых к структурам данных с использованием

стандартизированного языка запросов к базе данных SQL. Указанный подход позволяет обеспечить безопасность коммерческих данных пользователя, осуществлять запросы множества пользователей к одним и тем же данным, осуществлять анализ данных по специализированным алгоритмам.

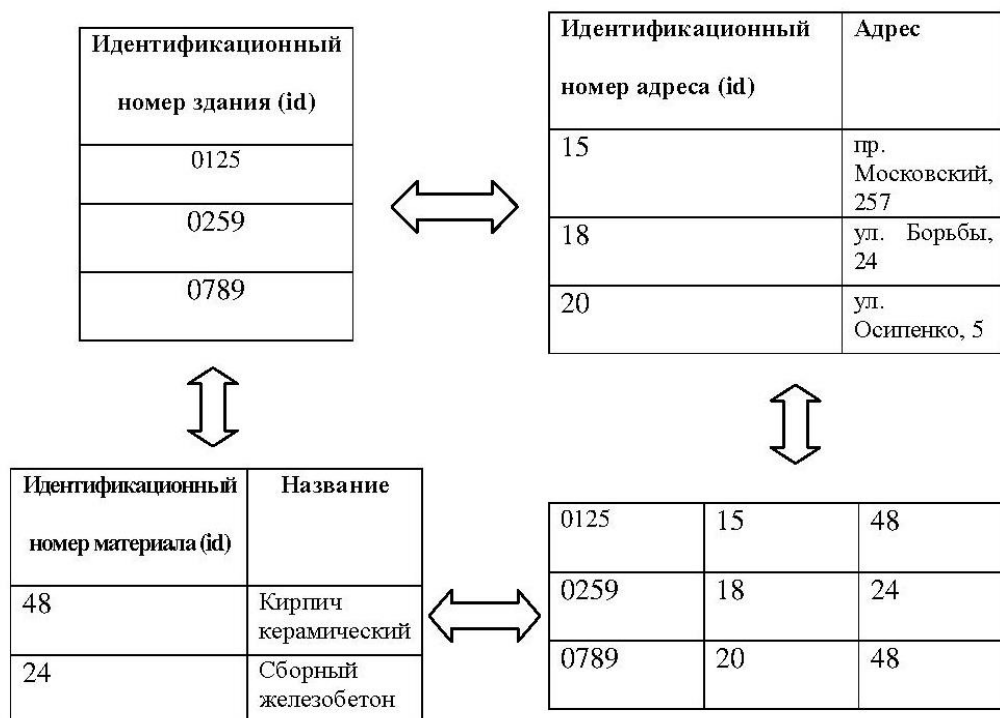


Рис. 3 Схема реляционной базы данных

Реляционные базы данных должны содержать множество типов данных (текст, целое число, число с плавающей точкой, булев тип данных и др), которые могут отображать информацию об объектах реального мира.

Выводы по данным исследований и перспективы дальнейших исследований.

Наиболее простым и эффективным способом представления данных является использование структурированных данных на основе стандартных языков разметки. Этот способ представления данных нашел широкое применение в сетях обмена электронными данными (Интернет). Наиболее известными языками разметки данных являются языки HTML и XML. Наиболее эффективным языком разметки является XML (Extensible Markup Language, расширяемый язык разметки). Язык

разметки определяет правила представления данных в следующем формате:

Указанный формат набирает популярность в качестве формата представления пространственных данных. Исследования приложения данного формата для отображения графической информации SVG (масштабируемая векторная графика) проводили Ляшенко А.А, Чернин А.Г., Коцюб М.

Данный формат принят на Украине в качестве формата обмена земельно кадастровой информацией [5-7].

К сожалению, приложение рассматриваемого формата для описания технического состояния зданий и сооружений отсутствует, что не позволяет создать в нашей стране единую кадастровую базу земли, недвижимости, инженерных коммуникаций.

Анализ указанной модели позволяет устранять аварийные ситуации. Он может оптимизировать систему управления служить основой для разработки бюджетов городским хозяйством. Прогнозировать городов. развитие города. Выявлять и своевременно

Список использованных источников.

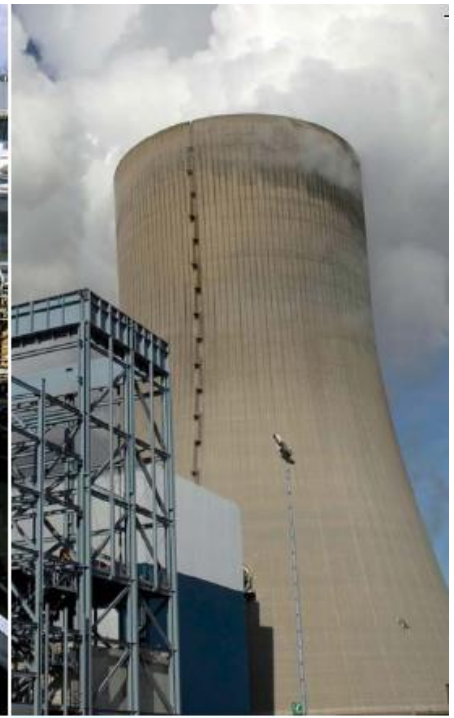
1. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных.-СПб.: Питер, 2003.-800 с.
2. Холзнер С. XML. Энциклопедия. -СПб.: Питер, 2004. -1101 с.
3. Ляшенко А.А. Методологічні основи та інформаційно – технологічні моделі інфраструктури геопросторових даних міських кадастрових систем, Автореферат дисертації на здобуття ступеня доктора технічних наук, К.: КНУБА, 2004
4. Офіційний сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України <http://www.minregion.gov.ua/kraschi-praktyky/stvorennya-miskoyi-informaciyno-analitichnoyi-sistemi-zabezpechennya-mistobudivnoyi-diyalnosti-mistobudivniy-kadastr-kieva-mias--542548/>
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок обміну інформацією між містобудівними та державним земельним кадастрами» від 25 травня 2011 р. № 556.
6. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності». Верховна Рада України; Закон від 17.02.2011 № 3038-VI.
7. Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів від 2 листопада 2009 року N 573 Про затвердження Вимог до структури, змісту та формату оформлення результатів робіт із землеустрою в електронному вигляді (обмінного файлу).

Рецензент д-р техн. наук, профессор Емельянова И.А.

Доброходова Ольга Валеріївна канд. техн. наук, доцент кафедри Інженерної геодезії Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 700-14-61 E-mail: helga_dov@rambler.ru

Dobrokhodova Olga Valeriivna candidate of technical sciences assistant professor of engineering geodesy Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 700-14-61 E-mail: helga_dov@rambler.ru

Стаття прийнята 11.06.2015 р

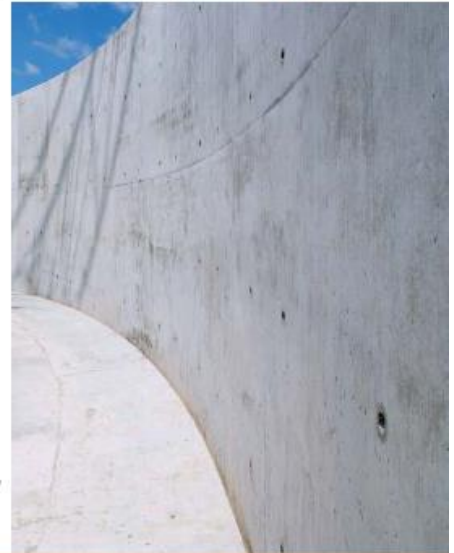


МЦ Баухемі –
Ми створюємо технології бетону
для надійних, витривалих і
добрих бетонів.

www.mc-bauchemie.ua

м. Березань; Київська обл.
вул. Маяковського, 38

(045) 766 54 53 (044) 286 46 27



У нас є правильне рішення для будь-якого питання

Вимога	Рішення
● Пластифікація для збільшення легкоукладуваності	Centrament
● Зниження значення в/ц для більшої витривалості	Muraplast / Centrament
● Пори для покращення стійкості до морозу та засобів для відтаювання	Centrament Air
● Захист від морозу для швидшого досягнення стійкості до заморожування	Centrament Rapid
● Затримка тужавіння для подовження часу укладання	Centrament Retard
● Піноутворювачі для бетонів, призначених для заповнення порожнин	Centripor SK
● Стабілізатор для підвищення однорідності бетонної суміші	Centrament Stabi

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ZBIRNIK NAUKOVIH PRAC' UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF
RAILWAY TRANSPORT**

Випуск 155

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/4 від 26 травня 2010 р.)

Статті друкуються мовою оригіналу.

Відповідальний за випуск Борзяк О.С.

КВ № 8617 від 06.04.2004 р. Підписано до друку 03.07.2015 р.

Формат паперу А4. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. _____. Тираж 105. Замовлення № _____.

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.