

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



ТИТЮК АНДРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 691.3:551.5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНУ ЗАХИСНОГО ШАРУ В
УМОВАХ АТМОСФЕРНИХ КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Савицький Микола Васильович,
Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури»,
проректор з наукової роботи,
завідувач кафедри залізобетонних і
кам'яних конструкцій.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Дорофєєв Віталій Степанович**,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, завідувач
кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій;
доктор технічних наук, професор **Дворкін Олег Леонідович**,
Національний університет водного господарства та
природокористування, професор кафедри технології будівельних
виробів та матеріалознавства.

Захист відбудеться 21 січня 2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (49005, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а).

Автореферат розісланий «___» грудня 2015 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради



Т.С. Кравчуновська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З початку широкого застосування залізобетонних конструкцій у промисловому і цивільному будівництві залишається актуальною проблема забезпечення їх довговічності в умовах дії агресивних середовищ природного, антропогенного або змішаного походження.

За результатами численних обстежень залізобетонних конструкцій, які експлуатуються в умовах атмосферних впливів, встановлено, що найбільш характерними дефектами пошкоджених конструкцій є руйнування бетону захисного шару, корозія арматури.

Бетон захисного шару залізобетонних конструкцій піддається впливу як агресивного повітряного середовища, що викликає нейтралізацію бетону, так і поперемінному замерзанню та відтаванню. Часто для виготовлення бетону конструкцій використовується дрібний заповнювач з низьким модулем крупності, при якому важко отримати бетон необхідної морозостійкості без застосування хімічних добавок.

Стандартизовані умови випробувань бетону на морозостійкість і корозійну стійкість істотно відрізняються від реальних експлуатаційних атмосферних кліматичних впливів. Тому потрібен метод прогнозування довговічності бетону захисного шару в умовах реальних атмосферних кліматичних впливів для проектування параметрів первинного захисту. Результати досліджень спрямовані на підвищення техніко-економічної ефективності застосування залізобетонних конструкцій в умовах дії агресивного повітряного середовища і низьких температур.

У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на забезпечення довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів, що викликають нейтралізацію бетону і морозну деструкцію, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження, викладені в дисертації, виконані відповідно до напряму наукової роботи кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» згідно з науково-дослідною роботою «Обґрунтування архітектурно-конструктивно-технологічних систем для проектування житлових будинків і соціоєкокомплексів» (державний реєстраційний № 0111U010429, 2011-2015 рр., рівень участі дисертанта - виконавець).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка наукових положень забезпечення довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів.

Сформульована мета дисертаційної роботи зумовила необхідність вирішення таких задач:

- виконати аналіз досліджень, спрямованих на: а) оцінку атмосферних кліматичних впливів, що викликають нейтралізацію бетону, з урахуванням морозної деструкції; б) дослідження впливу параметрів бетону на його довговічність при дії агресивного повітряного середовища і низьких

температур; в) розробку методів прогнозування довговічності бетону в умовах атмосферних кліматичних впливів;

- розробити метод прогнозування довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів;

- виконати натурні дослідження довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів;

- виконати експериментальні дослідження впливу визначальних факторів на морозостійкість бетонів на дрібних дніпровських пісках для забезпечення необхідної довговічності;

- розробити метод проектування первинного захисту бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів.

Об'єкт дослідження – бетон захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів.

Предмет дослідження – закономірності зміни характеристик бетону в часі при атмосферних кліматичних впливах.

Методи дослідження: експериментальні методи фізико-хімічних і механічних випробувань бетону за стандартними методиками; методи теорії тепло-масопереносу і розвитку гетерогенних хімічних реакцій при дослідженні довговічності бетону; методи натурних досліджень залізобетонних конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розроблено метод визначення кінетики нейтралізації бетону з урахуванням морозної деструкції (одержав подальший розвиток);

- отримані результати натурних досліджень довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів (одержано вперше);

- на основі експериментальних досліджень встановлені закономірності морозостійкості бетонів на дрібних дніпровських пісках залежно від визначальних параметрів (дістали подальший розвиток);

- запропоновано метод проектування первинного захисту бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів (одержано вперше).

Практичне значення одержаних результатів:

- на основі проведених досліджень розроблена методика проектування складу бетону і параметрів захисного шару залізобетонних конструкцій для забезпечення довговічності на заданий термін служби;

- результати досліджень можуть використовуватися в проектних організаціях, будівельних лабораторіях при проектуванні і призначенні параметрів бетону захисного шару залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах атмосферних кліматичних впливів;

- результати досліджень використані в навчальному процесі у підготовці дипломних та магістерських робіт.

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в:

- розробці методу визначення кінетики нейтралізації бетону з урахуванням морозної деструкції в умовах атмосферних кліматичних впливів [7];
- проведенні та узагальненні результатів натурних досліджень довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів [1];
- проведенні експериментальних досліджень та встановленні закономірностей морозостійкості бетонів на дрібних дніпровських пісках залежно від визначальних параметрів [5, 6];
- розробці методу проектування первинного захисту бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів [2, 3, 4];

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися на: міжнародних науково-практичних конференціях «Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового і транспортного призначення» (м. Ялта, 2011 р., 2013 р.; смт. Світлогірське, Кобиляцький район, Полтавська обл., 2014 р.), XXII польсько-українському науковому семінарі «Теоретичні основи будівництва» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); наукових семінарах кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ДВНЗ «ПДАБА» (2011-2015 рр.).

Публікації. Основні положення та результати дисертації опубліковані у 7 статтях у наукових фахових виданнях України, з яких 1 включена до міжнародної наукометричної бази даних РІНЦ.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, одного додатку, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації - 195 сторінок. Дисертація містить 50 таблиць і 68 рисунків, 1 додаток на трьох сторінках. Список використаних джерел містить 145 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, задачі та методи досліджень, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів; вказано особистий внесок здобувача, а також відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проаналізовано роботи вітчизняних та зарубіжних вчених, які присвячені питанню впливу агресивних середовищ на залізобетонні конструкції, особливостям процесу дифузії в бетон різних газоповітряних середовищ.

Вивченню довговічності залізобетону в умовах впливу агресивних середовищ присвячені роботи багатьох відомих вітчизняних та зарубіжних вчених: С. М. Алексеева, В. І. Бабушкіна, В. Г. Батракова, З. Я. Бліхарського, В. А. Вознесенського, Є. А. Гузеєва, Б. В. Гусева, Л. Й. Дворкіна, О. Л. Дворкіна, Ф. М. Іванова, В. М. Москвіна, А. Ф. Полака, А. М. Пługіна, А. А. Пługіна, Н. К. Розенталя, М. В. Савицького, А. С. Файвусовича, В. Л. Чернявського, а також М. Hamada, K. Kishitany, Sl. Modry, T. Nishi,

P. Schiessel, H.G. Smolzyk, H. I. Wiering. Збільшенням ресурсу роботи залізобетонних конструкцій займались Є. В. Кліменко, В. С. Дорофєєв.

Розглянуто методи прогнозування кінетики нейтралізації бетону захисного шару з урахуванням морозостійкості.

Всі дослідження карбонізації бетону захисного шару розроблені для стаціонарних процесів, коли температура повітря і вологість постійна. У реальних умовах температура і вологість зовнішнього повітря змінюються протягом року. Ці обставини необхідно враховувати при вдосконаленні методики оцінки та прогнозування довговічності бетону захисного шару за критерієм карбонізації.

Вплив низьких температур на довговічність бетонних і залізобетонних конструкцій вивчався в роботах С. М. Алексєєва, С. В. Александровського, В. Г. Батракова, О. Є. Власова, Є. А. Гузєєва, Г. Є. Горчакова, Ф. М. Іванова, В. М. Москвіна, С. А. Миронова, А. Ф. Мілованова, А. М. Подвального, С. В. Шестопєрова, М. І. Субботкіна, В. О. Алмазова, В. В. Кажарської, М. М. Капкіна, В. М. Мазура, Б. І. Пінуса, М. А. Сторожука, С. М. Леонівича, M. L. Gambir, J. C. McCormac, F. S. Merrit, M. J. Setzer.

Розглянуто питання впливу заповнювачів на властивості бетону, а також принципи класифікації добавок і аналіз ефективності добавок в бетони з метою підвищення морозостійкості.

За результатами вивчення та аналізу стану досліджень зроблено наступні висновки: проблема забезпечення довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів є актуальною, враховуючи значну кількість пошкоджень і деструкції до досягнення нормативного терміну служби конструкцій.

Довговічність бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів лімітується кінетикою нейтралізації бетону при впливі кислих газів, ускладненою морозною деструкцією при впливі поперемінного замерзання та відтавання. Сучасні нормативні документи не містять кількісних залежностей для розрахунку довговічності бетону захисного шару і призначення параметрів первинного захисту в умовах комплексного впливу агресивного повітряного середовища і кліматичних факторів.

Існуючі методи оцінки і прогнозу довговічності бетону захисного шару за критерієм нейтралізації не враховують реальних температурно-вологісних кліматичних умов середовища. Тому необхідне вдосконалення методики розрахунку довговічності бетону захисного шару з урахуванням змін кліматичних характеристик (температури і вологості) протягом терміну експлуатації.

Встановлені визначальні параметри, що впливають на морозостійкість бетону, однак обсяги пошкоджень бетону захисного шару залізобетонних конструкцій до досягнення нормованого терміну служби свідчать про необхідність проведення подальших досліджень, спрямованих на забезпечення необхідної морозостійкості бетону, особливо на дрібнозернистих пісках. Ефективним засобом модифікації бетонів для підвищення їх морозостійкості можуть бути хімічні добавки, які змінюють структуру бетону.

Неправильна оцінка агресивних факторів, невідповідність конструктивно-технологічних параметрів первинного захисту залізобетонних конструкцій умовам їх роботи призводять, нерідко, до пошкоджень або повної відмови будівельних елементів, а, отже, до збільшення витрат на ремонт і відновлення конструкцій. У той же час переоцінка цих факторів веде до зайвих витрат матеріалів і коштів на забезпечення їх стійкості. Найбільш ефективні рішення можливо отримати при кількісному врахуванні вищезазначених параметрів на стадії проектування складу бетону з урахуванням факторів, що визначають довговічність бетону.

Другий розділ присвячений розробці методу прогнозування довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів.

Для оцінки атмосферних кліматичних впливів на бетон захисного шару залізобетонних конструкцій проведені статистичні дослідження концентрації агресивних кислих газів в повітряному середовищі, температури і вологості, а також кількості циклів замерзання та відтавання бетону для умов міста Дніпропетровська.

На основі аналізу статистичних даних з 2001 по 2014 рік за кількістю циклів попереминого замерзання та відтавання для міста Дніпропетровська встановлено, що середня кількість циклів замерзання та відтавання за вказаний період становить 55 циклів на рік.

Виходячи з гіпотези про рівність глибини нейтралізації бетону при однаковому ступені агресивності газового середовища і наявних експериментальних даних запропоновано залежності для розрахунку ефективних коефіцієнтів дифузії кислих газів, що викликають нейтралізацію бетону.

На основі обробки експериментальних даних, а також узагальнення теоретичних уявлень про процес нейтралізації бетону і визначальні параметри зовнішнього середовища (концентрації агресивного газу в повітряному середовищі, вологості, температури, кількості циклів попереминого замерзання та відтавання) і внутрішніх параметрів бетону (вмісту цементу, відносного вмісту окису кальцію в цементі, кількості активних добавок, водоцементного відношення, морозостійкості бетону) отримані залежності для розрахунку кінетики нейтралізації бетону захисного шару в реальних умовах атмосферних кліматичних впливів (рис. 1).

Залежність для розрахунку часу (рік) карбонізації бетону захисного шару арматури залізобетонних конструкцій має вигляд:

$$\tau_{carb} = \frac{a}{\sum_{i=1}^n y_i}; \quad (1)$$

де: a – величина захисного шару бетону;

$\sum_{i=1}^n y_i$ - глибина карбонізації бетону захисного шару арматури за один календарний рік;

y_i – глибина карбонізації бетону захисного шару для i -го місяця з позитивною температурою:

$$y_i = \sqrt[n]{\frac{2D_i(T, \varphi)C_0\tau_i}{m_0}}; \quad (2)$$

де $D_i(T, \varphi)$ – ефективний коефіцієнт дифузії CO_2 в бетоні в i -тому місяці в залежності від температури T і вологості φ зовнішнього повітря;

C_0 – об'ємна концентрація газу, %;

τ_i – час взаємодії протягом розглянутого місяця;

m_0 – реакційна ємність бетону;

n – показник ступеня при корені.

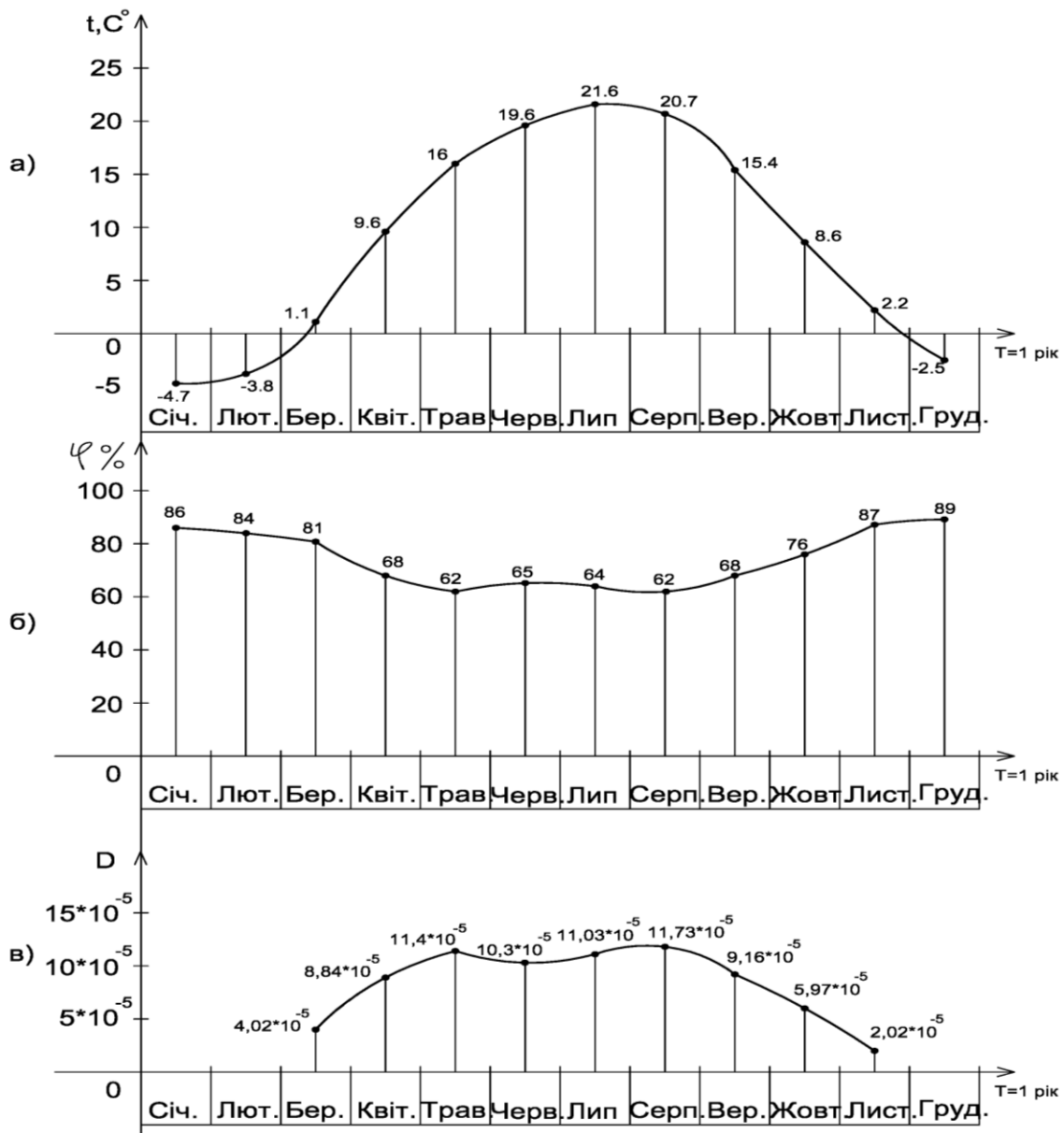


Рис. 1. Вплив температури зовнішнього повітря і вологості на ефективний коефіцієнт дифузії для умов м. Дніпропетровська:

а) середня температура зовнішнього повітря; б) середня вологість;

в) ефективний коефіцієнт дифузії.

Враховувати вплив кількості циклів поперемінного замерзання та відтавання на проникність бетону можливо з використанням коефіцієнта, що залежить від кількості циклів (рис. 2):

$$A_{j-1}(F) = \frac{1}{(1-P)^{F_{j-1}}}, \quad (3)$$

де P – імовірність руйнування бетону в циклі замерзання та відтавання;

F_{j-1} - кількість циклів поперемінного замерзання та відтавання за час, попередній до розглянутого року.

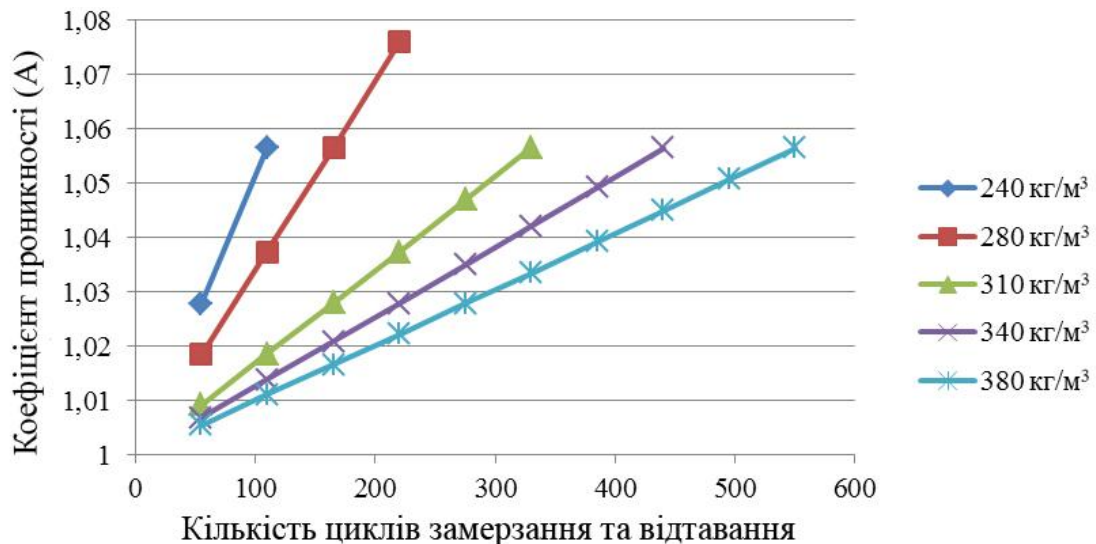


Рис. 2. Значення коефіцієнта проникності для бетонів з різною витратою цементу

Отримано теоретичні оцінки довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій різної товщини, з різним вмістом цементу і водоцементним відношенням. Дані свідчать про можливу нейтралізацію бетону захисного шару і депасивацію арматури до закінчення нормативного терміну служби залізобетонних конструкцій – 50 років.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням кінетики нейтралізації бетону захисного шару. Представлені результати проведених експериментальних досліджень кінетики карбонізації бетону в лабораторних і натурних умовах.

Виконані дослідження глибини карбонізації бетону віком 7 і 23 роки в лабораторних умовах (рис. 3, 4). За результатами випробувань були визначені залежності між міцністю, водонепроникністю і глибиною карбонізації. Отримані дані підтверджують придатність функції (2) для розрахунку глибини карбонізації з показником ступеня $n=2$ для бетонів високої проникності. Визначення довговічності бетону захисного шару з бетонів марок по водонепроникності W6 і вище доцільно здійснювати із застосуванням функції (2) з показником ступеня $n = 3$.

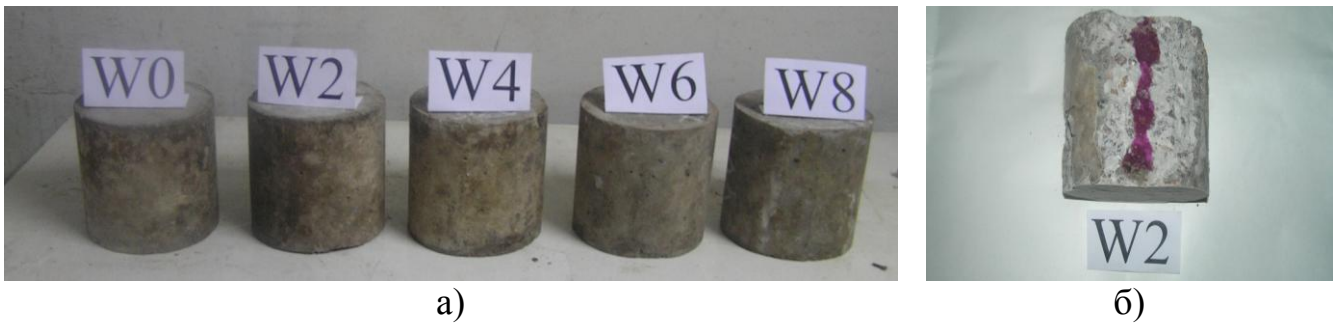


Рис. 3. Контрольні зразки бетону віком 23 роки:
а) загальний вигляд; б) визначення глибини нейтралізації бетону.

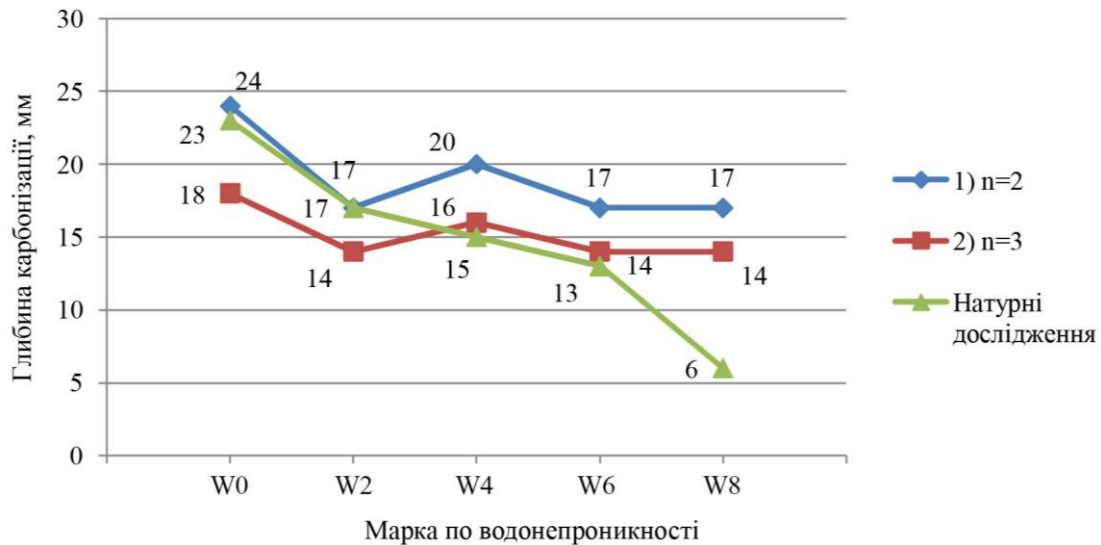


Рис. 4. Розрахункові та експериментальні дані із визначення глибини карбонізації бетону у віці 23 роки:
показник ступеня у виразі (2): 1) n=2; 2) n=3; 3) натурні дослідження.

Виконані дослідження з визначення терміну служби залізобетонних конструкцій будівлі, розташованої за адресою м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 93. Виконані прогнозні розрахунки часу карбонізації бетону захисного шару товщиною 20, 35, 50 мм фундаментних блоків для кліматичних умов м. Дніпропетровська при витраті портландцементу в бетоні 400 кг/м^3 і водоцементному відношенні $V/C = 0,5$.

Дані проведених розрахунків свідчать, що діапазон терміну служби бетону захисного шару становить 22 - 64 роки.

З метою оцінки адекватності запропонованого методу оцінки довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів було виконано візуальне та інструментальне обстеження балконних плит об'єктів, розташованих на ж/м Придніпровськ м. Дніпропетровська. Всього було обстежено близько 400 балконних плит (рис. 5).



а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Технічний стан балконних плит:
а) нормальний; б) задовільний; в) незадовільний; г) аварійний.

За результатами інструментального обстеження встановлена пряма залежність між глибиною карбонізації (X), водонепроникністю (W) і міцністю (R).

Результати лабораторних досліджень, натурних обстежень та чисельних розрахунків підтверджують адекватність запропонованого методу розрахунку кінетики нейтралізації бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів.

В **четвертому розділі** представлені результати експериментальних досліджень морозостійкості бетонів на місцевих будівельних матеріалах.

Для вивчення впливу величини витрати цементу на морозостійкість бетонів використовувалися склади на Балаклійському портландцементі марки 500 і Криворізькому цементі марки 400.

Витрати цементу були прийняті 240, 280, 310, 340 і 380 кг/м³ з умови забезпечення марок бетону по морозостійкості в діапазоні F75-F300. Ці витрати відповідають вимогам при марці бетонної суміші за легкоукладальністю П1 з осіданням конуса 1-4 см.

Для виготовлення дослідних зразків-кубів використовувалися дніпровський пісок і щебінь Рибальського кар'єру.

Дніпровський пісок має такі характеристики: модуль крупності - 1,34, насипна щільність у сухому стані - 1586 кг/м³, густина піску - 2645 кг/м³, водопотреба - 8,6%, порожнистість - 40%.

Зразки після досягнення 28-добового віку випробовувались на міцність і морозостійкість.

Морозостійкість визначалася згідно з ДСТУ Б В.2.7-47-96 (ГОСТ 10060.2-95) за третім прискореним методом із заморожуванням до - (50-55) °С в 5% розчині хлористого натрію. Для цього використовувалася морозильна машина НС 270/75, що дозволяє забезпечувати визначений нормами температурний режим. Зразки попередньо насичувалися сольовим розчином, а потім

піддавалися послідовно 2, 3, 4 і 5 циклам заморожування, що відповідає маркам за морозостійкістю F75, F100, F150, F200.

Результати досліджень підтвердили дані, що величина витрати цементу впливає на міцність і морозостійкість складів бетону на різних цементах. При відповідному підборі складів бетону на дрібному піску залежно від витрати цементу можна досягати необхідних проектних класів за міцністю і марок за морозостійкістю. Бетони на Балаклійському портландцементі мають більш високу морозостійкість, ніж на Криворізькому цементі.

При застосуванні дрібних пісків для отримання морозостійких бетонів необхідно коригувати типові елементні норми витрати цементу в залежності від застосовуваних місцевих матеріалів.

Для отримання оптимальних складів за міцністю і морозостійкістю на місцевих будівельних матеріалах (цемент, пісок, щебінь) необхідно застосовувати добавки, що поліпшують відповідні властивості бетону.

Для приготування бетонів при відповідному розрахунку та підборі їх складів можна використовувати дрібні піски. При застосуванні пластифікуючих добавок і портландцементу М500 з витратою цементу 375 кг/м^3 забезпечується клас бетону за міцністю на стиск понад С25/30. Такі склади бетонів при природному твердінні забезпечують марку за морозостійкістю F300, F400.

Застосування добавок в бетон на дрібному піску дозволяє змінювати процес твердіння бетону, його структуру та фізико-механічні властивості. Склад з добавкою ЛСТ в кількості 0,25 % від маси цементу забезпечив марку за морозостійкістю F400. Комплексні добавки системи «Релаксол» викликають пластифікуючий ефект і прискорюють процес твердіння бетону. Добавка «Супер» у кількості 1,8% від маси цементу дозволила знизити В/Ц з 0,5 до 0,416 при незмінній витраті цементу (375 кг/м^3) і підвищенні осідання конуса з 2 см до 5 см.

В п'ятому розділі представлений метод проектування первинного захисту при карбонізації та морозній деструкції в умовах атмосферних кліматичних впливів.

Вихідні дані: режим експлуатації – температурна зона, вологісна зона, умови експлуатації, кількість циклів замерзання/відтавання; термін служби конструкцій; концентрація агресивних газів; проектний клас бетону за міцністю.

Варійовані параметри: товщина бетону захисного шару; склад бетону (цемент, пісок, щебінь, вода, добавки); активність цементу.

Розрахунок складу бетону. Вихідними параметрами при підборі складу бетону, як відомо, є міцність бетону і рухливість бетонної суміші. Якщо міцність бетону конструкцій задана в проекті, то вона є нижнім обмеженням, яке необхідно враховувати при підборі складу бетону за критерієм довговічності.

В залежності від необхідної міцності бетону визначається водоцементне відношення (W/C). При цьому використовується відома залежність для міцності бетону:

$$R_b = A \cdot R_c ((C/W) - b), \quad (4)$$

де R_b – міцність бетону на стиск;

R_c – активність цементу;

(C/W) – цементно-водне відношення;

A, b – емпіричні коефіцієнти. Для бетону на щебені $A = 0,55$; $b = 0,5$.

$$R_b = R_b^{req}, \quad (5)$$

$$(C/W) = R_b / (A \cdot R_c) + b, \quad (6)$$

$$(W/C) = 1 / (C/W), \quad (7)$$

де R_b^{req} – необхідна міцність бетону на стиск.

Призначається марка бетону за морозостійкістю:

$$F \geq F^{req}, \quad (8)$$

де F^{req} – необхідна марка бетону за морозостійкістю.

При заданій рухливості бетонної суміші (жорсткості) і крупності гравію d_g визначається витрата води W для пластичних і жорстких бетонних сумішей за аналітичними залежностями, отриманими шляхом апроксимації табульованих і графічних даних, що містяться в керівництві з підбору складу важкого бетону:

$$\left. \begin{aligned} W &= 176,4 + 5,76 \cdot CS - 0,166 \cdot CS^2, \text{ якщо } d_g = 10 \text{ мм;} \\ W &= 162 + 5,464 \cdot CS - 0,125 \cdot CS^2, \text{ якщо } d_g = 20 \text{ мм;} \\ W &= 148,3 + 4,786 \cdot CS - 0,08 \cdot CS^2, \text{ якщо } d_g = 40 \text{ мм;} \\ W &= 133 + 5,286 \cdot CS - 0,134 \cdot CS^2, \text{ якщо } d_g = 70 \text{ мм;} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де CS – осідання конуса, см;

$$\left. \begin{aligned} W &= 189,47 - 1,983 \cdot H + 0,033 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 10 \text{ мм;} \\ W &= 173,25 - 1,748 \cdot H + 0,0257 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 20 \text{ мм;} \\ W &= 157,6 - 1,581 \cdot H + 0,0228 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 40 \text{ мм;} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де H – жорсткість бетонної суміші, визначена за ГОСТ 10181-76.

Для жорсткої бетонної суміші, визначеної за технічним віскозиметром, отримана залежність:

$$\left. \begin{aligned} W &= 189,51 - 0,654 \cdot H + 0,0036 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 10 \text{ мм;} \\ W &= 173,55 - 0,586 \cdot H + 0,0028 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 20 \text{ мм;} \\ W &= 158,27 - 0,548 \cdot H + 0,0027 \cdot H^2, \text{ якщо } d_g = 40 \text{ мм.} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Витрати цементу, великого та дрібного заповнювачів визначаються за відомими залежностями:

$$Cem = W : W/C, \quad (12)$$

$$G = \frac{1000}{\frac{\alpha \cdot V_g}{\gamma_g} + \frac{1}{\rho_g}}, \quad (13)$$

$$S = \left(1000 - \frac{Cem}{\rho_{cem}} - W - \frac{G}{\rho_g} \right) \cdot \rho_s, \quad (14)$$

де Cem , G , S – відповідно витрати цементу, гравію, піску, кг/м^3 ;

V_g – пустотність гравію (щебеню);

ρ_{cem} , ρ_s , ρ_g – відповідно щільності цементу, піску і гравію, кг/л ;

γ_g – насипна щільність гравію, кг/л ;

α – коефіцієнт розсунення, залежний від водоцементного відношення W/C і витрати цементу Cem .

Значення α для пластичних бетонних сумішей апроксимовані за допомогою інтерполяційного многочлена Лагранжа аналітичною залежністю:

$$\begin{aligned} \alpha = & \frac{(Cem-300) \cdot (Cem-350) \cdot (Cem-400) \cdot (Cem-500) \cdot (Cem-600)}{-6,5625 \cdot 10^{10} \cdot (0,6 \cdot W / C + 0,9)} + \\ & + \frac{(Cem-250) \cdot (Cem-350) \cdot (Cem-400) \cdot (Cem-500) \cdot (Cem-600)}{1,5 \cdot 10^{10} \cdot (0,6 \cdot W / C + 1)} + \\ & + \frac{(Cem-250) \cdot (Cem-300) \cdot (Cem-400) \cdot (Cem-500) \cdot (Cem-600)}{-9,735 \cdot 10^9 \cdot (0,6 \cdot W / C + 1,08)} + \\ & + \frac{(Cem-250) \cdot (Cem-300) \cdot (Cem-350) \cdot (Cem-500) \cdot (Cem-600)}{1,5 \cdot 10^{10} \cdot (0,6 \cdot W / C^2 + 0,9 \cdot W / C + 0,86)} + \\ & + \frac{(Cem-250) \cdot (Cem-300) \cdot (Cem-350) \cdot (Cem-400) \cdot (Cem-600)}{-7,5 \cdot 10^{10} \cdot (-2 \cdot W / C^2 + 2,2 \cdot W / C + 0,96)} + \\ & + \frac{(Cem-250) \cdot (Cem-300) \cdot (Cem-350) \cdot (Cem-400) \cdot (Cem-500)}{5,25 \cdot 10^{11} \cdot (0,4 \cdot W / C + 1,4)}. \end{aligned} \quad (15)$$

При витраті цементу понад 400 кг/м^3 витрати води необхідно збільшити на 1 л на кожні 10 кг цементу понад 400 кг:

$$W = W + n, \text{ якщо } 400 + 10n \leq x_1 < 400 + 10(n + 1); \quad (16)$$

$$n = 1, 2, \dots, 20,$$

де n – кількість додаткової води, л.

Час карбонізації бетону захисного шару арматури залізобетонних конструкцій (довговічність) τ_{carb} визначається з виразів:

$$a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij}, \quad (17)$$

$$y_{ij} = \sqrt[2]{\frac{2 \cdot A_{j-1}(F) \cdot D_{ij}(T, \varphi) \cdot C \cdot \tau_i}{m_0}}, \quad (18)$$

$$A_{j-1}(F) = \frac{1}{(1-P)^{F_{j-1}}},$$

$$D_{ij}(T, \varphi) = D_0 \cdot \xi_{Tij},$$

$$D_0 = 10^{-4} (10^{(W/C-0,4)/0,27} + 0,033(\varphi_{ij} - 60)(10^{(W/C-0,7)/0,2} - 10^{(W/C-0,4)/0,27})), \quad (19)$$

$$\xi_{Tij} = \left(\frac{273+t_i}{273} \right)^{1,75},$$

$$m_0 = f \cdot p_c (1 - p_a) C_{em} \cdot V \cdot M_g / M_{CaO}, \quad (20)$$

де a – величина захисного шару бетону;

$\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^m y_{ij}$ – глибина карбонізації бетону захисного шару арматури за

j календарних років;

y_{ij} – глибина карбонізації бетону захисного шару для i -го місяця з позитивною температурою в j -тому році;

$D_{ij}(T, \varphi)$ – ефективний коефіцієнт дифузії вуглекислого газу;

C – концентрація вуглекислого газу;

τ_i – час (тривалість i -го місяця);

m_0 – реакційна ємність бетону;

$A_{j-1}(F)$ – коефіцієнт проникності;

D_0 – ефективний коефіцієнт дифузії газу в бетоні при $t=0^0\text{C}$;

ξ_{Tij} – коефіцієнт, що враховує вплив температури в i -му місяці j -го року на ефективний коефіцієнт дифузії газу;

W/C – водоцементне відношення;

φ_{ij} – відносна вологість повітря в i -му місяці j -го року, %.

t_i – температура навколишнього середовища в i -му місяці, ^0C ;

p_c – вміст основних оксидів в цементному клінкері в перерахунку на CaO у відносних величинах за масою;

p_a – вміст активних добавок в цементі;

f – ступінь нейтралізації бетону, що дорівнює відношенню кількості основних оксидів, які прореагували з газом, до загальної їх кількості в цементі;

C_{em} – витрата цементу;

V – об'єм 1 г газу: $V = V_m / M_g$;

V_m – об'єм 1 моля газу;

M_g – молекулярна маса газу;

M_{CaO} – молекулярна маса CaO.

Середньомісячна температура повітря виражається залежністю:

$$T(m) = a \cdot \sin(bm - c) + d . \quad (21)$$

Для кліматичних умов м. Дніпропетровська виконано прогноз глибини карбонізації бетону захисного шару при регламентованих нормами параметрах бетону. Проведено співставлення вимог нормативних документів за призначенням величини захисного шару і прогнозних значень глибини карбонізації бетону. Встановлено, що при призначенні захисного шару за нормами ДСТУ Б В.2.6-145:2010 отримують недостатню довговічність, менше регламентованого терміну служби 50 років. При призначенні захисного шару за нормами ДСТУ - Н Б EN 1992-1-1:2010 отримують надлишкову надійність і довговічність захисного шару бетону більше 50 років (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльний аналіз отриманих результатів величини захисного шару для забезпечення довговічності бетону 50 років

Нормативний документ	С30/37		Довговічність
	Величина захисного шару за нормами, мм	Результати розрахунку за розробленою методикою, мм	
ДСТУ Б В.2.6-145:2010	20	24,3	-22%
ДСТУ – Н Б EN 1992 – 1-1:2010	30		+24%

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі викладено науково-обґрунтовані результати досліджень, спрямовані на розв'язання актуальної задачі забезпечення довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів шляхом розробки методу проектування первинного захисту бетону захисного шару залізобетонних конструкцій.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновки:

1. Для оцінки атмосферних кліматичних впливів на бетон захисного шару залізобетонних конструкцій проведені статистичні дослідження концентрації агресивних кислих газів в повітряному середовищі, температури і вологості, а також кількості циклів замерзання та відтавання бетону для умов міста Дніпропетровська. Виходячи з гіпотези про рівність глибини нейтралізації бетону для однаковою мірою агресивності газового середовища і наявних експериментальних даних, запропоновано залежності для розрахунку ефективних коефіцієнтів дифузії кислих газів, що викликають нейтралізацію бетону. Отримано залежність для розрахунку реакційної ємності бетону при його карбонізації, що враховує вміст активних добавок у цементі.

2. На основі обробки експериментальних даних, а також узагальнення теоретичних уявлень про процес нейтралізації бетону і визначальних чинників зовнішнього середовища (концентрації агресивного газу в повітряному середовищі, вологості, температури, кількості циклів поперемінного замерзання та відтавання) і внутрішніх параметрів бетону (вмісту цементу, відносного вмісту окису кальцію в цементі, кількості активних добавок, водоцементного відношення, морозостійкості бетону) отримано залежності для розрахунку кінетики нейтралізації бетону захисного шару в реальних умовах атмосферних кліматичних впливів. Отримано теоретичні оцінки довговічності бетону захисного шару залізобетонних конструкцій різної товщини, з різним вмістом цементу і водоцементним відношенням. Дані свідчать про можливу нейтралізацію бетону захисного шару і депасивацію арматури до закінчення нормативного терміну служби залізобетонних конструкцій – 50 років.

3. Результати лабораторних досліджень, натурних обстежень та чисельних розрахунків глибини карбонізації бетону в залежності від визначальних параметрів підтверджують адекватність запропонованого методу розрахунку кінетики нейтралізації бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів.

4. Проведено дослідження морозостійкості бетонів на дрібних Дніпровських пісках. Встановлено, що при застосуванні дрібних пісків для отримання морозостійких бетонів необхідно коригувати типові елементні норми витрати цементу в залежності від застосовуваних місцевих матеріалів. Для отримання оптимальних складів за міцністю і морозостійкістю на дрібних пісках необхідно застосовувати добавки, що поліпшують відповідні властивості бетону. При застосуванні пластифікуючих добавок і портландцементу М500 з витратою цементу 375 кг/м^3 забезпечується клас бетону за міцністю на стиск понад С30/37. Такі склади бетонів при природному твердінні забезпечують марку за морозостійкістю F300, F400. Застосування добавок в бетон на дрібному піску дозволяє змінювати процес твердіння бетону, його структуру та фізико-механічні властивості. Склад з добавкою ЛСТ в кількості 0,25 % від маси цементу забезпечив марку за морозостійкістю F400. Комплексні добавки системи «Релаксол» викликають пластифікуючий ефект і прискорюють процес твердіння бетону. Добавка «Супер» в кількості 1,8 % від маси цементу дозволила знизити В/Ц з 0,5 до 0,416 при незмінній витраті цементу (375 кг/м^3) і підвищенні осідання конуса з 2 см до 5 см.

5. Розроблено метод проектування первинного захисту при карбонізації і морозній деструкції. На основі експериментальних даних отримано вираз для розрахунку ефективного коефіцієнта дифузії вуглекислого газу, як функції водоцементного відношення і відносної вологості повітря. Згідно з розрахунками за вказаним методом отримані результати, які підтверджуються фактичними замірами глибини нейтралізації захисного шару на експлуатованих конструкціях.

6. Для кліматичних умов м. Дніпропетровська виконано прогноз глибини карбонізації бетону захисного шару регламентованих нормами параметрах бетону. Проведено зіставлення вимог нормативних документів за призначенням величини захисного шару і прогнозних значень глибини карбонізації бетону. Встановлено, що при призначенні захисного шару за нормами ДСТУ Б В.2.6-145:2010 отримують недостатню довговічність, менше регламентованого терміну служби 50 років. При призначенні захисного шару за нормами ДСТУ - Н Б EN 1992-1-1:2010 отримують надлишкову надійність і довговічність захисного шару бетону більше 50 років.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Тытюк А. А. Техническое состояние железобетонных конструкций балконов в жилых домах после длительного срока эксплуатации в атмосферной среде / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк, С. В. Богаченко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. – № 10. – С. 53–57.
2. Тытюк А. А. Экспериментальные исследования свойств сухих смесей для ремонта железобетонных конструкций / А. Н. Пшинько, Н. В. Савицкий, А. Н. Савицкий, С. В. Богаченко, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С. 357 – 364.
3. Тытюк А. А. Исследование факторов, влияющих на глубину карбонизации бетона в агрессивных газоздушных средах / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк, // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2011. – Вып. 61. – С.394 – 400.
4. Тытюк А. А. Проблемы оценки технического состояния железобетонных конструкций с целью достройки незавершенного железобетонного каркаса на примере жилого дома в г. Днепропетровске по ул. Мечникова, 5 / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2013. – Вып. 69. – С.435 – 439.
5. Тытюк А. А. Морозостойкость бетонов на мелких днепровских песках / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2014. – Вып. 77. – С.207–211.
6. Тытюк А. А. Прочность и морозостойкость бетонов на днепровских песках с низким модулем крупности / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк

// Theoretical Foundations of Civil Engineering. – Dnipropetrovsk: PSACEA, 2014. – Vol. 22, part II. – P. 39–46.

7. Тытюк А. А. Количественный метод проектирования первичной защиты бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий / Н. В. Савицкий, Ан. А. Тытюк, А. А. Тытюк // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2015. – № 6. – С. 27-36.

АНОТАЦІЯ

Титюк А. А. Забезпечення довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та вироби. – Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена забезпеченню довговічності бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів. Проведені статистичні дослідження концентрації агресивних кислих газів в повітряному середовищі, температури і вологості, а також кількості циклів замерзання і відтавання бетону для умов міста Дніпропетровська.

Удосконалено метод оцінки довговічності бетону захисного шару. Виконано прогнозні розрахунки часу карбонізації бетону захисного шару реально експлуатованих конструкцій в умовах міста Дніпропетровська.

Проведено дослідження морозостійкості бетонів на дрібних дніпровських пісках. Встановлено, що при застосуванні дрібних пісків для отримання морозостійких бетонів необхідно коригувати типові елементні норми витрати цементу в залежності від застосовуваних місцевих матеріалів. Для отримання оптимальних складів за міцністю і морозостійкістю на дрібних пісках необхідно застосовувати добавки.

Розроблено метод проектування первинного захисту при карбонізації та морозній деструкції. Згідно розрахунків за вказаним методом отримані результати, які підтверджуються фактичними замірами глибини нейтралізації захисного шару на експлуатованих конструкціях.

Ключові слова: довговічність, атмосферний кліматичний вплив, бетон захисного шару, карбонізація, морозостійкість, цикли замерзання і відтавання, склади бетону, добавки.

АННОТАЦИЯ

Тытюк А. А. Обеспечение долговечности бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепропетровск, 2015.

Диссертационная работа посвящена решению задачи обеспечения долговечности бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий. Рассмотрены вопросы, связанные с оценкой атмосферных климатических воздействий на бетон защитного слоя. Проведены статистические исследования концентрации агрессивных кислых газов в воздушной среде, температуры и влажности, а также количества циклов заморзания и оттаивания бетона для условий города Днепропетровска. Исходя из гипотезы о равенстве глубины нейтрализации бетона для равной степени агрессивности газовой среды и имеющихся экспериментальных данных, предложены зависимости для расчета эффективных коэффициентов диффузии кислых газов, вызывающих нейтрализацию бетона. Получена зависимость для расчета реакционной емкости бетона при его карбонизации, учитывающая содержание активных добавок в цементе.

Усовершенствован метод оценки долговечности бетона защитного слоя. На основе обработки экспериментальных данных, а также обобщения теоретических представлений о процессе нейтрализации бетона и определяющих факторов внешней среды получены зависимости для расчета кинетики нейтрализации бетона защитного слоя в реальных условиях атмосферных климатических воздействий. Получены теоретические оценки долговечности бетона защитного слоя железобетонных конструкций различной толщины, с различным содержанием цемента и водоцементным отношением. Выполнены прогнозные расчеты времени карбонизации бетона защитного слоя реально эксплуатируемых конструкций в условиях города Днепропетровска.

Проведено исследование морозостойкости бетонов на мелких днепровских песках. Установлено, что при применении мелких песков для получения морозостойких бетонов необходимо корректировать типичные элементные нормы расхода цемента в зависимости от применяемых местных материалов. Для получения оптимальных составов по прочности и морозостойкости на мелких песках необходимо применять добавки, улучшающие соответствующие свойства бетона. Применение добавок в бетон на мелком песке позволяет изменять процесс твердения бетона, его структуру и физико-механические свойства.

Приведен алгоритм обеспечения долговечности бетона защитного слоя согласно требованиям норм проектирования при карбонизации и морозной деструкции, который базируется на рецептурном подходе.

Разработан количественный метод проектирования параметров первичной защиты бетона защитного слоя железобетонных конструкций при карбонизации и морозной деструкции, который учитывает как внутренние характеристики бетона (проницаемость, реакционная емкость, зависящая от химико-минералогического состава цемента, содержание цемента, относительное содержание оксида кальция в цементе, количество активных добавок, водоцементное отношение, морозостойкости бетона), так и параметры внешних воздействий (концентрация агрессивного газа в воздушной среде, влажность, температура, количество циклов попеременного замораживания и оттаивания). На основе экспериментальных данных получено выражение для

расчета эффективного коэффициента диффузии углекислого газа, как функции водоцементного отношения и относительной влажности воздуха. Согласно расчетам по указанному методу получены результаты, которые подтверждаются фактическими замерами глубины нейтрализации защитного слоя на эксплуатируемых конструкциях.

Для климатических условий г. Днепропетровска выполнен прогноз глубины карбонизации бетона защитного слоя при регламентируемых нормами параметрах бетона. Проведено сопоставление требований нормативных документов по назначению величины защитного слоя и прогнозных значений глубины карбонизации бетона.

Ключевые слова: долговечность, атмосферное климатическое воздействие, бетон защитного слоя, карбонизация, морозостойкость, циклы замерзания и оттаивание, составы бетона, добавки.

SUMMARY

Tytiuk A.A. Providing of the longevity of the concrete protective layer under atmospheric climate impacts. – On the rights of manuscript.

A thesis submitted for the Candidate of Technical Sciences on speciality 05.23.05 - building materials and articles. – State higher educational establishment “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” of Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2015.

The thesis is dedicated to the providing of the longevity of the concrete protective layer under atmospheric climate impacts. Statistical studies of the concentration of corrosive acid gases in the air, temperature and humidity, as well as the number of cycles of freezing and thawing of the concrete in the conditions for the city of Dnipropetrovsk were carried out.

The method for assessing of the longevity of the concrete protective layer was improved. The predicted calculations of time carbonation of concrete protective layer of really exploited structures in the conditions for the city of Dnipropetrovsk were completed.

The investigation of the frost resistance of concrete on the Dnipro fine sands was conducted. It was found that under the application of fine sand to produce frost-resistant concrete it is necessary to modify the typical element application rates of cement, depending on the used local materials. To obtain the optimal compositions for strength and frost resistance on fine sands it is essential to apply additives.

A method of designing the primary protection for carbonization and frost resistance is developed. The results which were received according to the calculation of the mentioned procedure are actual for the measurements of neutralization depth of the protective layer on the exploited structures.

Keywords: longevity, atmospheric climate impact, concrete protective layer, carbonation, frost resistance, cycles of freezing and thawing, concrete compositions, additives.

Підписано до друку 11.12.2015 р. Формат 60x84/16
Папір офсетний.
Друк різнограф. Гарнітура Times New Roman
Ум. Друк. Арк.. 0,9. Обл.-вид. арк.. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № 5798

Св. Серія А01 №049793 от 07.09.98
Видано в ППФ “Тотем”
м. Дніпропетровськ
вул.. Карла Лібкнехта, 50
тел.: 0562-36-95-76