

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертацію

**Смирнова Антона Сергійовича**

**«Бетони з використанням крупного заповнювача рециклінгового походження»,**

представленої на здобуття ступеня доктора філософії

у спеціалізовану вчену раду ДФ 08.084.42

при Українському державному університеті науки та технологій

Навчально-науковому інституті

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

### **1. Актуальність теми дослідження**

З 2022 року уряд України працює над розробкою механізмів утилізації та повторного використання будівельних відходів, які утворилися через масові руйнування інфраструктури внаслідок воєнних дій. За різними оцінками, мова йде про мільйони тон будівельного сміття.

Окрім цього зростання обсягів будівництва призводить до збільшення знесення старих будівель і споруд, що, в свою чергу, створює значну кількість будівельних відходів. За деякими оцінками, частка таких відходів може становити до третини від усіх відходів.

З 1970-х рр. в Європі та США ведуться дослідження щодо можливості застосування подрібненого бетонного та залізобетонного лому в якості крупного заповнювача для виготовлення нового бетону. Очевидно властивості та поведінка таких заповнювачів в бетоні суттєво відрізняються від традиційних заповнювачів. Тобто застосування рециклінгових заповнювачів потребує врахування їх особливостей під час розрахунку складу та проектування властивостей бетону. Існуючі в Україні нормативно-технічні документи дозволяють введення рециклінгового щебня не більше, ніж 20% від загальної маси крупного заповнювача. В умовах великої кількості відходів від руйнувань існує потреба збільшення цієї частки в тому числі і для застосування в несучих конструкціях. Необхідність врахування характерних особливостей крупного заповнювача рециклінгового походження під час розрахунку складу важкого бетону зумовлює актуальність дослідження.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Робота виконувалася відповідно до науково-дослідної тематики кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (ПДАБА) у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку "Технічні науки" Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (державний реєстраційний номер 0123U105370) та «Індустріальні архітектурно-конструктивно-технологічні системи будівель з інтегрованими укриттями для відбудови соціальної інфраструктури України за технологіями рециклінгу та розподіленої енергетики» (державний реєстраційний номер 0124U000543).



### **3. Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації забезпечується значним обсягом проведених теоретичних і практичних досліджень. Експериментальне дослідження виконувалось за стандартними методиками визначення фізико-механічних характеристик складових, бетонних сумішей та бетонів у відповідному віці.

Впровадження результатів дослідження здійснювалось в умовах реального будівельного майданчику, випробування зразків виконувалось в випробувальній лабораторії.

### **4. Наукова новизна отриманих результатів**

Наукові положення та методики, викладені в дисертації, відзначаються високим рівнем новизни та оригінальності. Основні результати дослідження включають:

- результати експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей крупного заповнювача рециклінгового походження, отриманого після подрібнення бетону на місцевих матеріалах;
- встановлені закономірності формування структури бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження;
- на основі експериментальних даних щодо властивостей бетонних сумішей та бетонів з крупним заповнювачем рециклінгового походження удосконалений метод розрахунку складу бетону, в якому врахована можливість застосування в бетонах крупного заповнювача рециклінгового походження, його особливостей та закономірностей формування структури бетону;
- експериментально підтверджена можливість застосування крупного заповнювача рециклінгового походження у важких бетонах класів міцності до C20/25 за рахунок якісного фракціонування, перемішування, формування та достовірного визначення фактичних характеристик заповнювача.

### **5. Практичне значення одержаних результатів**

Удосконалений метод розрахунку складу важкого бетону, запропонований автором, дозволяє спроектувати склад бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження з урахуванням його особливостей та закономірностей формування структури бетону з заданими міцністю та рухливістю бетонної суміші. Автором встановлено, що на характеристики бетону з рециклінговим щебнем більшою мірою впливають кількість стадій подрібнення, ретельність перемішування фракцій та достовірність визначення властивостей крупного заповнювача рециклінгового походження. Тоді як властивості бетону, з якого отриманий подрібнений щебінь, не є визначальними. Це дозволяє з урахуванням експериментально визначених автором поправок до коефіцієнта якості заповнювачів та водопотреби бетонної суміші розрахувати склади бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження з класами міцності до C20/25.



## **6. Оцінка змісту та завершеності дисертаційної роботи**

Розглянута дисертація викладена на 182 сторінках машинописного тексту. Робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 146 сторінок друкованого тексту. Список використаних джерел складається з 118 найменувань, з них 43 кирилицею та 75 латиницею.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження, визначені об'єкт, предмет та методи досліджень, наведені наукова новизна та практична цінність результатів роботи.

У **першому розділі** дисертації висвітлені джерела утворення відходів, виконано огляд нормативних та декларативних документів в Україні. Наведений та проаналізований світовий досвід використання подрібненого бетону в якості заповнювачів для нового бетону. Розглянута мезоскопічна модель бетону з рециклінговим крупним заповнювачем (РКЗ) та охарактеризовані його особливості. За результатами вивчення літературних джерел узагальнено наявну на даний момент інформацію про заповнювачі рециклінгового походження та особливості їх застосування. Проаналізований прийнятий в Україні розрахунково-експериментальний метод розрахунку складу важкого бетону на предмет можливості його застосування для проектування складів бетонів з РКЗ. На основі отриманих даних сформульовані теоретичні передумови та обмеження умов дослідження.

В **другому розділі** за допомогою стандартних методів випробувань визначені характеристики матеріалів, що застосовувалися в дослідженні. Для отримання рециклінгового щебня автором виготовлені зразки бетону-джерела різних класів міцності, які подрібнювались в різному віці. Також в розділі описані методи дослідження крупного рециклінгового заповнювача та бетону з його використанням.

В **третьому розділі** експериментально визначені фізико-механічні характеристики крупного заповнювача рециклінгового походження. За результатами ситового аналізу визначений вміст кожної фракції та встановлено, що в цілому склад крупних фракцій відповідає вимогам до крупного заповнювача. За результатами визначення властивостей РКЗ виконано його класифікацію за насипною та середньою густинами, лещадністю тощо. Висвітлена характерна особливість РКЗ – зменшення густини та міцності заповнювача разом із зменшенням розмірів зерен, що обумовлено наявністю залишкового розчину, вміст якого для зерен різних фракцій є різним. Визначені закономірності формування оптимального зернового складу РКЗ.

В **четвертому розділі** виконано математичне планування двофакторного експерименту. Описані фактори, що варіюються, а також визначені рівні їх варіювання. Для кожного рівня варіювання факторів виконані серії зразків бетону з РКЗ, які випробувались на стиск у віці 28 діб.

Одразу після замішування відповідних бетонних сумішей визначалась рухливість та густина. З умови рівнорухливості сумішей на натуральному щебні та РКЗ автором експериментальним шляхом встановлена кількість води,



що витрачається на заповнення пор РКЗ – 1.4...1.6% від масового вмісту РКЗ в суміші.

За результатами визначення міцності бетону на стиск автором виявлено збільшення міцності в зразках з меншою витратою води за однакових водоцементних співвідношеннях (Ц/В). Ця закономірність простежувалась незалежно від складу РКЗ. Автором зроблено висновок про різницю в реальних Ц/В в таких зразках за рахунок миттєвого поглинання води порами РКЗ.

З умови рівноміцності бетонів з натуральним заповнювачем та РКЗ розрахована поправка до коефіцієнта якості заповнювачів  $\Delta A_i = -0.05$ . Встановлено, що міцність бетону з РКЗ не залежить від міцності бетону, після подрібнення якого отриманий РКЗ, а визначається, як і у випадку традиційного бетону, тільки співвідношенням Ц/В і міцністю РКЗ, тобто вмістом залишкового розчину та якістю контактної зони між ним та натуральним щебнем.

В п'ятому розділі наведені результати виробничої апробації результатів дослідження та зазначена інформація про їх впровадження в освітній процес в Придніпровській державній академії будівництва та архітектури.

Використовуючи дані власних досліджень, а також алгоритм розрахунку складу бетону за удосконаленим методом, автором виконана оцінка економічного ефекту від заміщення натурального крупного заповнювача на РКЗ при виготовленні конструкційних бетонів різних класів. Встановлено, що в залежності від марки цементу та необхідного класу бетону вартість виготовлення конструкційного бетону може бути знижена на величину до 9,6%.

На прикладі знесення типової «хрущовки» автором виконано розрахунок обсягів отриманого після подрібнення бетонного лому готового до застосування РКЗ. За методикою, прийнятою в Європейському союзі, на основі інформації з екологічних декларацій продукції виконані розрахунки емісії CO<sub>2</sub> на етапах виробництва та завершення життєвого циклу будівельних об'єктів. Встановлено, що в залежності від марки цементу та необхідного класу бетону застосування РКЗ може сприяти зменшенню шкідливих викидів на величину до 26,6%.

У загальних висновках наведені підсумки дослідження.

Дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (із змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. Вона узгоджується з напрямками наукових досліджень освітньо-наукової програми Українського державного університету науки і технологій, навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».



## **7. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях**

За матеріалами дисертації опубліковано 4 наукові праці у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України.

Особистий внесок здобувача в наукових працях опублікованих у співавторстві: проаналізовані результати попередніх досліджень в різних країнах; проаналізована існуюча в Україні нормативна база та можливість її застосування у випадку застосування рециклінгового крупного заповнювача для виготовлення бетону; експериментально визначені властивості рециклінгового крупного заповнювача та розроблені рекомендації щодо врахування його особливостей під час розрахунку складу та виготовлення бетону; експериментально визначена можливість застосування рециклінгового заповнювача в інших видах бетону (грунтобетон).

Результати дослідження оприлюднено в матеріалах п'яти міжнародних та всеукраїнських конференціях та інших науково-практичних заходах, в тому числі одна доповідь англійською мовою.

Опубліковані наукові роботи повністю відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року.

## **8. Дотримання вимог академічної доброчесності**

Дисертаційна робота Смирнова Антона Сергійовича є самостійно виконаним науковим дослідженням здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагиату та запозичень. Використані результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

## **9. Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі**

1. Розділ 1 бажано було б завершити загальними висновками, які підтверджують актуальність поставлених задач та мети досліджень.

2. Розділ 2 містить посилання на ДСТУ Б В.2.7-189:2009, але не внесений до списку використаних джерел.

3. У таблиці 3.2 на стор. 73 доцільно було б використати термін «прохід крізь сито...».

4. При побудові кривих розсіювання рис. 3.1, рис. 3.2, згідно з п. 7.5 ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013, бажано використовувати відповідні сита та додати криву С.

5. Потребує уточнення визначення рухливості бетонної суміші для кожного експериментального замісу на 3.5 л, що визначалося згідно п. 2.3.2 за допомогою стандартного конусу згідно ДСТУ Б В.2.7-114-2002.

6. У таблиці 4.20 вказано клас бетону С18/22.5, що не відповідає ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови.

7. При розрахунку коефіцієнту варіації варто було б збільшити кількість зразків, особливо при визначенні міцності бетону на РКЗ. Наявність

залишкового розчину в крупному заповнювачі рециклінгового походження збільшує неоднорідність бетонної суміші та зменшує прогнозованість характеристик готового бетону, при цьому значення коефіцієнта варіації 3.5%, 3.9%, 4.1% викликають сумнів.

#### 10. Загальний висновок

Зауваження до дисертаційної роботи не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. За актуальністю, об'ємом, ступенем обґрунтованості наукових положень та висновків, науковою новизною та практичною цінністю, рівнем отриманих результатів та висновків, повнотою їх викладення в опублікованих працях, дисертаційна робота є повністю завершеною науковою працею, яка вирішує важливу науково-практичну задачу.

Дисертаційна робота Смирнова Антона Сергійовича «Бетони з використанням крупного заповнювача рециклінгового походження» є завершеним науковим дослідженням. За змістом та оформленням дисертація відповідає спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», а також вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 р. та наказу МОН України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Автор роботи Смирнов Антон Сергійович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент,  
доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
Національного університету  
«Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка»,  
кандидат технічних наук,  
доцент

Оксана ДЕМЧЕНКО

Підпис к.т.н., доцента ДЕМЧЕНКО Оксани ЗАСВІДЧУЮ  
Проректор з наукової та міжнародної роботи  
Національного університету «Полтавська  
Політехніка імені Юрія Кондратюка»



Олена СТЕПОВА