

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертацію Смирнова Антона Сергійовича «Бетони з використанням крупного заповнювача рециклінгового походження», представлені 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**

У зв'язку із значною кількістю руйнувань внаслідок військових дій, а також фізичним зносом основних фондів у житлово-цивільному та промисловому секторах в Україні гостро постає питання утворення великої кількості будівельних відходів. Традиційно відходи від руйнувань та демонтажу будівель та споруд вивозяться на полігони з подальшим захороненням без будь-якої переробки, що вже призвело до наповненості полігонів на 90-95%. Суттєву частку в таких відходах складає бетонний та залізобетонний брукт. З іншої сторони, бетон залишається найпоширенішим будівельним матеріалом, для виготовлення якого застосовуються природні заповнювачі (щебінь та пісок). Відповідно в бетонних відходах присутні такі природні заповнювачі. В такому випадку доцільним є використання подрібненого бетону в якості крупного заповнювача для виробництва нового бетону.

Світовий досвід свідчить, що застосування рециклінгового крупного заповнювача (РКЗ) можливе для виготовлення важких бетонів, у тому числі для несучих конструкцій різного функціонального призначення. Разом з тим, загальноприйняті в Україні методи та підходи ще не враховують можливість застосування крупного заповнювача рециклінгового походження для проектування складів важкого бетону. В умовах значної кількості руйнувань та обсягів знесення будівель і споруд існує потреба в удосконаленні існуючих методів розрахунку складів бетону з урахуванням характеристик крупного заповнювача, утвореного в результаті переробки бетонних відходів.

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

Дисертаційна робота має тісний зв'язок з науково-дослідними роботами кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій Навчально-наукового інституту «Придніпровської державної академії будівництва та архітектури» Українського державного університету науки та технологій «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 та надійність основних наукових висновків забезпечені застосуванням стандартних методик фізико-механічних випробувань заповнювачів та бетону, а також співвідношенням теоретичних передумов з отриманими в

результаті експериментів властивостями бетонних сумішей та бетонів з крупним заповнювачем рециклінгового заповнювача. Достовірність запропонованих рекомендацій щодо формування раціонального зернового складу рециклінгового крупного заповнювача, а також удосконаленого методу проектування складу бетону з таким заповнювачем підтверджена в умовах практичного будівництва.

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

За результатами наукового дослідження автором отримані наукові результати, які розкривають його особистий внесок у розробку досліджуваної проблеми:

- виявлені закономірності формування структури бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження, які базуються на одержаних результатах експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей крупного заповнювача рециклінгового походження, отриманого після подрібнення бетону на місцевих матеріалах;

- з використанням методів експериментально-статистичного моделювання удосконалений метод проектування складів важких бетонів з рециклінговим крупним заповнювачем, у якому запропоновано новий підхід щодо можливості застосування в бетонах крупного заповнювача рециклінгового походження з врахуванням його особливостей та закономірностей формування структури бетону;

- подальший розвиток отримали наукові засади проектування складів важких бетонів класів міцності до С20/25 для певного виду конструкцій, які враховують якісне фракціонування, ретельне перемішування та достовірне визначення фактичних характеристик крупного заповнювача рециклінгового походження.

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

Удосконалений існуючий в Україні традиційний метод розрахунку складу важкого бетону в частині можливості застосування крупного заповнювача рециклінгового походження: експериментально визначені поправки для визначення водо-цементного співвідношення та витрат води, які враховують особливості такого заповнювача, а також розроблені рекомендації щодо формування раціонального зернового складу. Результати дисертаційної роботи впроваджені компанією ТОВ «ДНПРО ЗБК» при проектуванні складу бетону для влаштування підлоги в одному з приміщень в процесі нового будівництва складу резервного палива по вул. Байкальській, 9Г в м. Дніпрі.

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

Дисертаційна робота написана українською мовою з дотриманням наукового стилю викладання, технічної точності та логічної структури, що відповідає стандартам для наукових праць. Обґрунтованість основних наукових положень, висновків і рекомендацій базується також на представленому в роботі аналітичному і експериментальному матеріалах.

У вступі (6 с.) наведені актуальність теми дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами, мета і задачі дослідження, застосовані методи, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок автора та апробація результатів дослідження.

У першому розділі (32 с.) виконано аналіз джерел утворення бетонних та залізобетонних відходів. Описані існуючі в Україні нормативно-технічні та декларативні документи, що регламентують повторне застосування будівельних відходів. Розглянута мезоскопічна модель бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження. Встановлено, що такий бетон є більш складною системою через наявність додаткових фаз – залишкового розчину та міжфазної контактної зони між ним і природним заповнювачем. Показано, що наявність залишкового розчину в заповнювачі визначає необхідність враховувати його під час проектування та прогнозування властивостей бетонної суміші та виготовленого бетону. Існуючі методи розрахунку складів не враховують суттєву неоднорідність заповнювача рециклінгового походження. Проаналізовано традиційний в Україні розрахунково-експериментальний метод підбору складу важкого бетону, покладений в основу національних стандартів, та виконана оцінка можливості його застосування для проектування складу бетону з рециклінговим крупним заповнювачем.

В цілому, матеріал розділу викладено логічно в послідовності, яка дозволила коректно сформулювати мету та задачі досліджень. Окремо слід відзначити значну кількість проаналізованих автором сучасних джерел інформації. На підставі цього висунута наукова гіпотеза про можливість врахування особливостей РКЗ при розрахунку і виборі складу бетону шляхом введення експериментально визначених поправок на походження і фізико-механічні властивості РКЗ. В той же час, у науковій гіпотезі автору слід було вказати на доцільність виявлення впливу наповнювачів (зола-винесення та ін.) та пластифікаторів на міцність бетону з використанням РКЗ.

У другому розділі (16 с.) описані застосовані матеріали та методи експериментальних випробувань бетонів, які дають можливість вирішити поставлені завдання та досягнути заданої мети роботи. В той же час, для оцінки поверхні РКЗ доцільно було використати комплекс методів фізико-хімічного аналізу (оптична мікроскопія та ін.).

У третьому розділі (18 с.) представлені результати випробувань крупного заповнювача, отриманого після подрібнення бетону. Встановлено, що діючим нормативним документам щодо зернового складу крупного заповнювача відповідають лише суміші крупних фракцій рециклінгового щебня. Встановлені закономірності формування раціонального гранулометричного складу крупного заповнювача рециклінгового походження, а також наявність залишкового розчину на зернах рециклінгового щебеню. Показано, що його оптимальний зерновий склад досягається шляхом зменшення вмісту дрібних фракцій до мінімально допустимих значень. За таких умов досягається найбільша насипна густина та найщільніше пакування зерен.

В цілому, дослідження, результати яких наведені у третьому розділі, дозволили автору логічно перейти до розробки ефективних складів бетонів з використанням заповнювачів рециклінгового походження.

У четвертому розділі (44 с.) експериментально встановлені фізико-механічні властивості бетонів з крупним заповнювачем рециклінгового походження. Виходячи з умови рівномірності бетону та рівнорухливості бетонних сумішей з природним та рециклінговим заповнювачами, експериментально визначені поправки для розрахунку водо-цементного відношення та водопотреби бетонної суміші. Ці

поправки дозволяють врахувати особливості крупного заповнювача рециклінгового походження під час розрахунку складу бетону: для коректного розрахунку необхідного водо-цементного відношення необхідне застосування поправки до коефіцієнта якості заповнювачів  $\Delta A = -0,05$ , а для отримання аналогічної рухливості суміші загальну водопотребу необхідно збільшити на  $1,4 \div 1,6\%$  від масового вмісту рециклінгового щебня.

Під час експерименту також встановлені закономірності утворення структури бетону з рециклінговим крупним заповнювачем. За рахунок наявності залишкового розчину відбувається інтенсивне поглинання води пористими поверхнями заповнювача, що призводить до зниження рухливості бетонної суміші. Але при цьому за однакових водо-цементних відношень міцність зразків бетону з менш рухливих сумішей виявилась вищою. Це свідчить, що в контактних зонах між рециклінговим заповнювачем та розчиною частиною відбувається збільшення Ц/В, яке призводить до збільшення міцності.

В цілому, наведений аналіз результатів досліджень дозволяє зробити загальний висновок, що деякі висновки автора є дискусійними, проте основні наукові положення, які розробляються в розділах 3, 4 дисертаційної роботи є обґрунтованими і такими, що базуються на отриманих експериментальних результатах.

У п'ятому розділі (26 с.) наведений алгоритм удосконаленого методу розрахунку складу бетону з крупним заповнювачем рециклінгового походження. Також наведені результати виробничої апробації результатів дослідження. В цьому ж розділі на основі аналізу ринку сировини, матеріалів, а також переробки та сортування будівельних відходів у Дніпропетровській області розрахований економічний ефект від заміщення натурального щебня на рециклінговий за умови розрахунку складу бетону за удосконаленим методом. У залежності від застосованого цементу, а також проєктного класу бетону можливо досягти економії на вартості складових бетонної суміші до  $9,6\%$ . Крім цього розрахований екологічний ефект за методикою, що заснована на застосуванні екологічних декларацій продукції. В залежності від застосованого цементу, а також проєктного класу бетону зменшення емісії вуглекислого газу може сягати  $26,6\%$ .

**Загальні висновки** (4 с.) по роботі висловлені чітко і аргументовані конкретними результатами.

Список використаних джерел (13 с) складається зі 118 найменувань.

У дисертації наведені 3 додатки (6 с) з переліком публікацій автора, результатами виробничої апробації та впровадження результатів дослідження в освітній процес у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури.

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**

Матеріали дисертаційної роботи представлені в 4 статтях в наукових фахових виданнях України. Крім цього результати дослідження були презентовані на 5 міжнародних та всеукраїнських конференціях з 2020 року, в тому числі 1 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**

Після перевірки дисертаційної роботи на предмет академічного плагіату встановлено, що відсоток оригінальності тексту складає 91,21%. З 8,79% відсотків схожості 6,55 процентних пунктів складають самоцитування в наукових статтях, опублікованих у співавторстві з науковим керівником автора.

Таким чином, у дисертаційній роботі Смирнова А. С. не виявлено ознак академічного плагіату, які могли б поставити під сумнів самостійність виконаного дослідження. Результати аналізу публікацій здобувача засвідчують повноцінне висвітлення в них основних положень та результатів дисертаційного дослідження.

**Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації.** Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним до основних наукових положень дисертаційної роботи, а також містить необхідну інформацію, яка дає достатнє уявлення сутності досліджень і отриманих автором результатів.

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

1. Здобувачем поставлено завдання одержання бетонів з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі крупного заповнювача рециклінгу бетону. В той же час, для формування щільної макро- та мезоструктури бетону та збільшення міцності контактної зони на межі «заповнювач рециклінгу бетону – цементний камінь» доцільно було провести моделювання впливу суперпластифікаторів різних типів, що забезпечує підвищення міцності, водонепроникності та довговічності.
2. Результати експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей крупного заповнювача рециклінгового походження, отриманого після подрібнення бетону на місцевих матеріалах, що віднесені до наукової новизни дисертаційної роботи, слід було більш чітко конкретизувати з виділенням особливостей структуроутворення.
3. Автором встановлено (розділ 3), що головним фактором, який має визначальний вплив на властивості РКЗ, є наявність залишкового розчину на зернах щебеню. При цьому вказано, що за рахунок наявності пористого залишкового розчину водопотреба РКЗ в 7,8...8,7 разів вища за водопотребу натурального заповнювача (НЗ). В той же час, слід було навести абсолютні значення водопотреби РКЗ та НЗ, а також представити їх вплив на легковкладальність та життєздатність бетонних сумішей.
4. В табл. 3.2 наведено результати ситового аналізу сумішей РКЗ після подрібнення, згідно яких повні залишки зростають із зменшенням розміру

сита. Разом з тим, як видно з рис. 3.1 та 3.2, на кривих розсіювання сумішей щебеню після подрібнення із зменшенням розміру сита спостерігається зниження повних залишків.

5. Згідно формули Болоема міцність бетону, активність цементу, Ц/В подані як технологічні фактори, а фізико-механічні властивості заповнювачів, які суттєво впливають на міцність бетону, представлені у вигляді коефіцієнту (А), значення якого залежить від якості заповнювачів. При цьому коефіцієнт якості заповнювачів може змінюватись наступним чином: при понижень якості  $A=0,55$ ; рядовій якості  $A=0,60$ ; високій якості ( $A=0,65$ ). Для натурального заповнювача відкоригованого гранулометричного складу автором прийнято коефіцієнт  $A_0=0,62$ . На основі розробленої автором уточненої методології проектування складів бетонів на РКЗ вводяться поправочні коефіцієнти. Разом з тим, неясно, яке значення отримав коефіцієнт якості РКЗ після внесення поправочних коефіцієнтів.
6. Автором у якості показника рухливості суміші обраний розплив стандартного конуса (РК), що визначався за аналогією з методикою визначення консистенції цементно-піщаного розчину. Для визначення консистенції використовується цементно-піщаний розчин Ц:П=1:3 з використанням стандартизованого піску. Як видно з рис. 2.10, для модельних складів співвідношення РК / ОК складає 1,8. Тому для сумішей з ОК=20 см і вище значення РК має бути понад 36 см. Разом з тим, максимальний діаметр диска струшуючого столика складає всього 25 см, що обмежує застосування даної методики для високорухливих сумішей.
7. В роботі для досліджень бетонів застосований пісок, що відноситься до групи дуже дрібних ( $M_k = 1,36$ ). В той же час, важливе значення має поєднання піску та дрібної фракції менше 5 мм у складі РКЗ, вміст якої складає 15...17%, що дозволить оптимізувати криву гранулометричного складу. Тому доцільно було побудувати криву суміші фракцій дрібних заповнювачів, а також загальну криву гранулометричного складу заповнювачів.
8. Для більш повної оцінки технічного та екологічного ефектів розроблених складів бетонів доцільно розрахувати показники клінкер- та  $CO_2$ -інтенсивностей у віці 28 діб та оцінити їх відповідність вимогам для низьковуглецевих бетонів.

Наведені вище зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та не зменшують ступеня наукової обґрунтованості та достовірності отриманих результатів та висновків, а в перспективі можуть бути враховані автором при проведенні подальших досліджень.

## **10. Загальний висновок**

Автор успішно вирішив поставлені задачі, демонструючи глибоке розуміння теми. Наукові результати роботи мають теоретичне та практичне значення. Дисертант дотримався академічної доброчесності.

Дисертаційна робота Смирнова Антона Сергійовича «Бетони з використанням крупного заповнювача рециклінгового походження» є завершеним дослідженням, в якому запропонований удосконалений метод розрахунку складу бетону, згідно якого враховуються особливості та закономірності крупного заповнювача рециклінгового походження. 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», а її автор, Смирнов Антон Сергійович, заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент, завідувач  
кафедри будівельного виробництва  
Національного університету  
«Львівська політехніка», м. Львів,  
доктор технічних наук, професор



Мирослав Саницький

Особистий підпис д.т.н., професора Мирослава Саницького "засвідчую"

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Роман Брилинський