

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТЯЖЁЛОГО БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И МИКРОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Старший преподаватель Патхидинова Умидахон Собитжоновна, Наманганский
государственный технический университет

Доцент П.Ахмедов Наманганского государственного технического
университета

Аннотация: Коррозия арматуры является одной из основных причин разрушения тяжёлого бетона при воздействии агрессивных сред, включая морскую воду, промышленные выбросы и углекислый газ. В данной работе исследуется влияние использования местных промышленных отходов (золы-уноса, гранулированного доменного шлака и известнякового порошка) в качестве добавок на механические свойства, проницаемость, глубину карбонизации и коррозионную стойкость тяжёлого бетона. Экспериментальные образцы изготовлены с заменой цемента отходами на 10–20% и испытывались до 180 дней. Проводились испытания на прочность при сжатии, водопоглощение, тест на проницаемость хлоридов (ASTM C1202), измерение глубины карбонизации, мониторинг коррозии с помощью линейной поляризационной резистанс-методики (LPR) и микроструктурный анализ с использованием SEM и EDS. Результаты показывают, что добавки отходов существенно увеличивают прочность (до 25%), снижают проницаемость (до 45%) и замедляют коррозию арматуры в 3–6 раз. Микроструктурный анализ выявил плотное образование C–S–H и улучшение зоны перехода (ITZ). Исследование подтверждает возможность получения высокопрочного и долговечного бетона с использованием местных промышленных отходов.

Ключевые слова: тяжёлый бетон, коррозионная стойкость, промышленные отходы, устойчивость, микроструктура, проницаемость хлоридов

“IMPROVING THE CORROSION RESISTANCE OF HEAVY CONCRETE USING LOCAL INDUSTRIAL WASTE AN EXPERIMENTAL AND MICROSTRUCTURAL STUDY”

Senior Lecturer Umidakhon Patkhidinova Sobitjonovna, Namangan State Technical University

Associate Professor P. Akhmedov, Namangan State Technical University

Abstract: Reinforcement corrosion is one of the main causes of the deterioration of heavy concrete when exposed to aggressive environments, including seawater, industrial emissions, and carbon dioxide. This study investigates the effect of using local industrial waste materials (fly ash, ground granulated blast furnace slag, and limestone powder) as additives on the mechanical properties, permeability, carbonation depth, and corrosion resistance of heavy concrete. Experimental specimens were produced by replacing 10–20% of cement with these waste materials and were tested for up to 180 days. Tests included compressive strength, water absorption, chloride permeability (ASTM C1202), carbonation depth measurement, corrosion monitoring using the linear polarization resistance (LPR) method, and microstructural analysis with SEM and EDS. The results show that the waste additives significantly increase strength (up to 25%), reduce permeability (up to 45%), and slow down reinforcement corrosion by 3–6 times. Microstructural analysis revealed dense C–S–H formation and improvement of the interfacial transition zone (ITZ). The study confirms the potential for producing high-strength and durable concrete using local industrial waste materials.

Keywords: heavy concrete, corrosion resistance, industrial waste, durability, microstructure, chloride permeability

1. Введение

1.1 Актуальность

Тяжёлый бетон широко применяется в мостостроении, плотинах, промышленных и атомных сооружениях. Однако воздействие агрессивных

факторов среды приводит к ускоренной коррозии арматуры и снижению долговечности конструкций (Пападакис, 2000; Невилл, 2012).

1.2 Использование промышленных отходов

Добавки промышленного происхождения (зола-унос, гранулированный доменный шлак, известняковый порошок) могут:

Способствовать образованию дополнительных фаз C–S–H

Снижать пористость и проницаемость

Повышать стойкость к проникновению хлоридов и карбонизации (Мехта и Монтеиро, 2014; Томас, 2017)

1.3 Пробел в исследованиях

Эффективность таких отходов зависит от их химического состава, поэтому необходимы региональные исследования для оптимизации пропорций добавок.

1.4 Цели исследования

1. Оценить базовую коррозионную стойкость и прочностные характеристики тяжёлого бетона.
2. Исследовать влияние местных промышленных отходов на микроструктуру, проницаемость и коррозионную стойкость.
3. Разработать оптимальные составы бетона для эксплуатации в агрессивной среде.

2. Материалы и методы

2.1 Материалы

Цемент: Портландцемент СЕМ I 42.5

Заполнители: щебень 5–20 мм, кварцевый песок

Промышленные отходы: зола-унос, гранулированный доменный шлак, известняковый порошок

2.2 Состав смесей

Смесь	Тип добавки	Замена цемента (%)	Примечания
C0	Нет	0	Контрольная
C1	Зола-унос	10	Одиночная добавка
C2	Шлак	15	Одиночная добавка
C3	Композит (зола+шлак+известняк)	20	Комбинированная добавка

2.3 Подготовка образцов

Кубы: 150×150×150 мм

Цилиндры: Ø100×200 мм

Армированные образцы: Ø12 мм арматура с защитным слоем 25 мм

Условия твердения: 20 ± 2°C, 95% влажность до 180 дней

2.4 Методы испытаний

1. Прочность на сжатие (ASTM C39)
2. Водопоглощение и проницаемость (DIN 1048)
3. Проницаемость хлоридов (ASTM C1202)
4. Глубина карбонизации (фенолфталеин, ускоренное воздействие CO₂)
5. Коррозия арматуры (LPR в растворе 3.5% NaCl)

3. Результаты

3.1 Прочность на сжатие (28–180 дней)

Смесь	28 дней (МПа)	90 дней (МПа)	180 дней (МПа)	Прирост к C0 (%)
C0	45	50	52	-
C1	49	55	58	+11
C2	50	57	60	+15
C3	54	62	65	+25

3.2 Проницаемость и коррозионная стойкость

Снижение водопоглощения: 15–40% (C3 наилучший)

Проницаемость хлоридов: снижение на 22–45%

Глубина карбонизации: уменьшение на 18–42%

LPR: снижение коррозионного тока в 3–6 раз

3.3 Микроструктура

SEM: плотное образование C–S–H, однородная зона перехода (ITZ)

EDS: понижение Ca/Si, подтверждающее образование вторичных гидратов

4. Обсуждение

Микроструктурное улучшение: SCM уменьшают пористость и повышают плотность

Механизм гидратации: реакция золы и шлака с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ формирует дополнительный C–S–H

Коррозионная защита: сниженная проницаемость и плотный ITZ предотвращают доступ агрессивных ионов

5. Заключение

1. Использование промышленных отходов повышает долговечность и прочность тяжёлого бетона.
2. Композитная смесь СЗ обеспечивает наибольшие преимущества: +25% прочности, –45% проницаемости, 3–6× снижение коррозии.
3. Данные результаты подтверждают возможность получения высокопрочного и экологичного бетона.

6. Рекомендации

Договременные испытания в реальных условиях

Оптимизация доли местных отходов

Исследование нанодобавок для дальнейшего улучшения

7. Список литературы

1. Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw Hill.
2. Thomas, M. (2017). Supplementary cementing materials in concrete. *Materials and Structures*, 50(2), 1–15.
3. Papadakis, V. G. (2000). Effect of supplementary materials on concrete durability. *Cement and Concrete Research*, 30(12), 1841–1855.

4. Neville, A. (2012). *Properties of Concrete*. Pearson Education.
5. Behfarnia, K., Nematollahi, B. (2013). Influence of industrial wastes on corrosion resistance of reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 122–129.