

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 4, 2025 vol. 2

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**
Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT
RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164**

**VOLUME 2, ISSUE 4
DECEMBER, 2025**



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 2, ISSUE 4 DECEMBER, 2025

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

The “Journal of Transport” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Development of a new generation of concrete mixtures based on a technogenic microfiller and a polifunctional additive for low and non-heat-free technologies of making reinforced concrete products

A.I. Adilkhodzhaev¹^{ORCID}^a, I.A. Kadirov²^{ORCID}^b, D.F. Tosheva³^{ORCID}^c, I.I. Umarov²^{ORCID}^d, M.Z. Rajabov²^{ORCID}^e

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Uzbekistan

³Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract:

The article examines the development of energy- and resource-saving concrete mixtures using a technogenic finely dispersed aggregate - steelmaking waste (SPO) and a new generation polyfunctional additive (PFD) (superplasticizers based on polycarboxylate ethers). Research has been conducted on the physical, mechanical, and operational properties of the reinforcement, including its porous structure, water resistance, frost resistance, corrosion resistance, shrinkage deformations, and heat treatment regimes. The obtained results confirm that the modified compositions have improved characteristics: a decrease in total porosity to 10.42% (compared to 14.91% in the control), an increase in the modulus of elasticity and strength, an increase in resistance to acid-base and sulfate influences, and a decrease in shrinkage deformations by 21-33%. It was determined that the implementation of these technologies is expedient in the context of modernizing the construction industry of Uzbekistan and corresponds to the tasks of the "green economy".

Keywords:

new-generation concrete; technogenic microfiller; superplasticizer; resource conservation; low- and heat-free technology; porous structure; corrosion resistance of reinforcement; water resistance

Разработка бетонных смесей нового поколения на основе техногенного микронаполнителя и полифункциональной добавки для мало и безпрогревных технологий изготовления железобетонных изделий

Адилходжаев А.И.¹^{ORCID}^a, Кадиров И.А.²^{ORCID}^b, Тошева Д.Ф.³^{ORCID}^c, Умаров И.И²^{ORCID}^d, Раджабов М.З.²^{ORCID}^e

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Ташкент, Узбекистан

³Бухарский государственный технический университет, Бухара, Узбекистан

Аннотация:

В статье рассматривается разработка энерго- и ресурсосберегающих бетонных смесей с применением техногенного мелкодисперсного наполнителя — отходов сталеплавильного производства (СПО) и полифункциональной добавки (ПФД) нового поколения (суперпластификаторы на основе поликарбоксилатных эфиров). Проведены исследования физико-механических и эксплуатационных свойств, в том числе пористой структуры, водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости арматуры, деформаций усадки и режимов тепловой обработки. Полученные результаты подтверждают, что модифицированные составы обладают улучшенными характеристиками: снижение общей пористости до 10,42 % (вместо 14,91 % в контрольном), увеличение модуля упругости и прочности, повышение стойкости к кислотно-щелочному и сульфатному воздействию, снижение деформаций усадки на 21–33 %. Установлено, что внедрение указанных технологий целесообразно в условиях модернизации строительной отрасли Узбекистана и соответствует задачам «зелёной экономики»..

Ключевые слова:

бетон нового поколения; техногенный микронаполнитель; суперпластификатор; ресурсосбережение; мало- и безпрогревная технология; пористая структура; коррозионная стойкость арматуры; водонепроницаемость

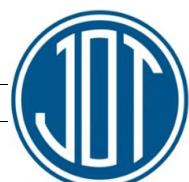
^a^{ORCID} <https://orcid.org/0000-0001-5729-5178>

^d^{ORCID} <https://orcid.org/0009-0003-0080-1780>

^b^{ORCID} <https://orcid.org/0000-0003-3924-0864>

^e^{ORCID} <https://orcid.org/0009-0001-2396-5599>

^c^{ORCID} <https://orcid.org/0009-0006-9710-0746>



1. Введение

В современном строительстве приоритетным направлением является создание инновационных, экологически чистых технологий, обеспечивающих снижение энергозатрат и создание альтернативы традиционным материалам. Особое внимание уделяется совершенствованию производства бетонных смесей и энерго- и ресурсосберегающих бетонов с использованием природного и техногенного сырья.

В последние годы в мире активно разрабатываются низкоэнергетические технологии "бетона будущего" с применением химических и минеральных модификаторов. Такой подход обеспечивает экологическую безопасность, экономическую эффективность и рациональное использование ресурсов, а также значительное повышение прочности бетона на ранних стадиях твердения. Использование комплексных модификаторов на основе местного сырья открывает возможности для перехода к ресурсосберегающим малопрогревным или беспрогревным технологиям производства железобетонных изделий с заданными свойствами.

В Узбекистане осуществляются масштабные мероприятия по модернизации строительной отрасли, техническому и технологическому обновлению производственных процессов, снижению энергоемкости и ресурсоемкости строительных материалов. В "Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы" поставлена задача к 2026 году повысить энергоэффективность экономики на 20 процентов и сократить выбросы вредных газов на 20 процентов путем активного внедрения технологий "зеленой экономики" [1-3].

Реализация этих задач, включая производство энергоэффективных и экологически чистых строительных материалов с заданными свойствами, создание и совершенствование существующих технологий и энергоэффективных подходов их производства на основе местного сырья, является актуальной задачей.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых посвящены модификации бетона минеральными наполнителями и химическими добавками с целью снижения расхода материалов и энергии, а также улучшения свойств цементных систем.

В ранее выполненных работах подробно рассматривались вопросы проектирования бетонов нового поколения, механизмы действия химических модификаторов и влияние минеральных микронаполнителей на физико-химические взаимодействия в цементной системе.

Несмотря на достигнутые результаты, недостаточно изученными остаются вопросы влияния минерального модификатора различной активности на адгезию между вяжущим и заполнителем, а также его воздействие на щелочную среду цементной системы.

Требует дополнительного изучения переход на малопрогревные и беспрогревные технологии изготовления железобетонных изделий с учетом комплексного воздействия полифункциональных химических добавок, обеспечивающих не только водоредуцирование, но и интенсификацию сроков схватывания.

Кроме того, недостаточно исследованы вопросы влияния комплексных модификаторов на коррозию стальной арматуры и стойкость многокомпонентных модифицированных составов против агрессивных сред.

В связи с этим, актуальной задачей является проведение комплексных исследований по разработке бетонных смесей и бетонов для ресурсосберегающих малопрогревной и беспрогревной технологии, обладающих улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами за счет применения малоактивного микронаполнителя техногенного происхождения и полифункциональной добавки [4].

В данной статье рассматриваются вопросы разработки бетонных смесей нового поколения с требуемыми показателями свойств на основе отходов сталеплавильного производства и полифункциональной добавки для производства на их основе железобетонных конструкций с использованием малопрогревной или беспрогревной технологий тепловой обработки изделий.

2. Методика исследования

В качестве вяжущего в исследованиях использован портландцемент ЦЕМ I 32.5Н завода "Ахангаранцемент", в качестве мелкодисперсного наполнителя сталеплавильный отход (СПО) Литейно-механического завода АО "Ўзбекситон темир йўллари", в качестве химической добавки полифункциональная добавка (ПФД) новое поколение высокоеффективных суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров и аммиачной воды POLIMIXJBI и суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров POLIMIX фирмы ARMENT CONSTRUCTION CHEMICALS.

Экспериментальные образцы бетона с различным содержанием компонентов, указанным в табл. 1, хранились в нормальных условиях в течение 28 суток. После достижения указанного возраста образцы были высушены до постоянной массы при температуре 105°C.

Таблица 1

Исследуемые составы самоуплотняющихся бетонных смесей

Составы	Класс бетона	Осадка конуса (см)	Расход материалов на 1 м ³ (кг)						
			Цемент	Песок Мк=2,5	Щебень Фр.10-20	Вода	СПО	POLIMIXJBI/ POLIMIX	В/Ц
			кг	кг	кг	л	кг	кг	-
1	B30	П4 (20)	510	541	1100	220	-	-	0,43
2			331	672	1100	140	110	1,4/-	0,41
3			331	672	1100	150	110	-/2.83	0,42



Для исследования свойств тяжелого бетона применялся комплекс различных методов, соответствующих требованиям действующих нормативных документов. Испытания на водонепроницаемость проводились на конических образцах (диаметр 175x185 мм, высота 150 мм) после 28 суток твердения в нормальных условиях с использованием специализированного оборудования WI-185. Метод испытания соответствовал требованиям ГОСТ 12730.5-84 "Бетоны" [5,6]. Метод определения водонепроницаемости". Параллельно исследовались деформации усадки цементного камня на образцах-балках размером 40x40x160 мм с использованием устройства, предназначенного для измерения деформаций сжатия образцов, в соответствии с ГОСТ 24544-81 "Бетоны. Метод определения деформаций усадки и ползучести". Модуль упругости и призматическая прочность тяжелого бетона определялись на образцах-призмах размером 10x10x40 см в соответствии с ГОСТ 24452-80 "Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона".

Для исследования высоловообразования, образцы-призмы размером 40x40x160 мм, изготовленные из эталонной и модифицированной мелкозернистых бетонных смесей, после 28 дней твердения в условиях оптимальной влажности, помещались в отдельные контейнеры с водой (уровень 3-5 см) и ежедневно продувались воздухом (температура 20±5°C) не менее 3 часов в течение семи дней. Метод испытания соответствовал требованиям ГОСТ 30459-2008 "Добавки для бетонов. Методы определения эффективности" [7-9].

Пористость образцов определялась автоматическим ртутным порозиметром Thermo Scientific Pascal 240EVO (Италия), позволяющим определить общую пористость, распределение объема пор по размерам, удельную поверхность и ее распределение по размерам пор с пределом допустимой относительной погрешности метода, не превышающим 2%.

Стойкость бетона к щелочной и сульфатной коррозии определялась на образцах-балках размером

40x40x160 мм по методике В.В. Кинда [114]. Коэффициент сопротивления Кс рассчитывался как отношение средних значений прочности на изгиб образцов-балок, выдержаных 120 дней в агрессивном растворе (20% растворы Na₂SO₄ и NaOH), к средним значениям прочности на изгиб образцов-балок, выдержаных 120 дней в воде. Коэффициент стойкости рассчитывался с точностью до 0,01. Представленный комплекс методов позволяет всесторонне исследовать свойства тяжелого бетона, что необходимо для обеспечения долговечности и надежности бетонных конструкций, эксплуатируемых в различных условиях окружающей среды.

3. Результаты и обсуждение

Многочисленные исследования физико-механических свойств бетона, таких как прочность, деформируемость, проницаемость и морозостойкость, выявили их зависимость от пористости, которая формируется в результате различных процессов, включая гидратацию цементного вяжущего, укладку бетонной смеси и затвердевание материала. Различают несколько типов пор: капиллярные (образуются при испарении избытка воды и влияют на проницаемость), седиментационные (возникают в зонах контакта "связующее+наполнитель"), контракционная (образуются из-за контракции цементного камня) и технологические (связаны с процессом приготовления и укладки смеси). Каждый тип пористости по-своему влияет на свойства бетона. Для определения пористости бетона использовался ртутный порозиметр Thermo Scientific Pascal 240. Образцы, хранившиеся 28 дней в нормальных условиях, высушивались и помещались в дилатометр для заполнения ртутью. После заполнения дилатометр помещали в порозиметр для получения порограмм, которые автоматически рассчитывались с помощью программы SOLID EVO. Анализ порограмм позволил определить размер относительной поверхности пор и распределение общей пористости по размерам (табл. 2).

Таблица 2

Показатели пористой структуры исследуемых составов

Наименование показателей	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Удельный объем пор (мм ³ /г):	63,81	46,78	49,24
Общая площадь пор (м ² /г)	6,576	4,908	5,112
Средний размер пор (мкм):	0,0388	0,031	0,035
Общая пористость образцов, %	14,91	10,42	11,89

Результаты исследований пористой структуры различных составов бетона демонстрируют, что введение комплексной добавки оказывает существенное влияние на изменение пористости материала.

В частности, анализ данных показывает, что введение комплексной добавки в состав №3 привело к уменьшению общей пористости на 20,25% по сравнению с контрольным образцом, изготовленным без добавки.

Наиболее выраженный эффект снижения пористости наблюдался в составе №2,

модифицированном добавкой на основе ПФД и СПО. В данном случае пористость модифицированного состава уменьшилась на 30,11% по сравнению с контрольным образцом.

Сравнительный анализ пористой структуры различных составов бетона выявил, что состав №2 характеризуется наилучшими показателями снижения общей пористости, а также других характеристик пористой структуры.

Эксплуатация бетонных конструкций в условиях циклических температурных изменений негативно



сказывается на их прочностных характеристиках из-за термических деформаций и структурных изменений материала.

Ключевым фактором, влияющим на долговечность бетона, является его пористость. Высокая пористость увеличивает водопоглощение, что способствует насыщению бетона водой с последующим ее замерзанием и оттаиванием. Бетоны с низкой пористостью более устойчивы к циклам замораживания-оттаивания.

Устойчивость к замерзанию также связана с непроницаемостью материала. Высокая степень

непроницаемости ограничивает проникновение воды в поры, снижая вероятность образования льда при отрицательных температурах.

Для обеспечения комплексной оценки эффективности влияния исследуемых добавок на качественные характеристики модифицированных бетонов, в дополнение к ранее проведенным испытаниям, были исследованы эксплуатационные и деформационные свойства составов, представленных в табл. 1. Результаты данного исследования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эксплуатационные и деформативные свойства исследуемых составов				
Составы	Морозостойкость, F, циклы	Водонепроницаемость, W, МПа	Модуль упругости, $E_b \cdot 10^3$, МПа	Призматическая прочность, R_{bn} , МПа
Состав №1	300	0.6	25	32
Состав №2	450	1.0	34	47
Состав №3	400	0.8	28	44

В табл. 6 показано, что добавление комплексной добавки на основе ПФД и СПО улучшило морозостойкость на 3 пункта и водонепроницаемость на 2 класса по сравнению с контрольным составом. Это связано с уменьшением капиллярной пористости из-за снижения водопотребности благодаря ПФД и образованием новых соединений тоберморита из-за реакции СПО с портландитом [10-13].

Модификация составом с ПФД и СПО увеличила модуль упругости на 26%, а призменную прочность на 31% по сравнению с контрольным составом. Также, по сравнению с составом №3, эти показатели увеличились на 17% и 6% соответственно.

Высолообразования на поверхности цементных

бетонов ухудшают их долговечность и внешний вид. Солевые выделения - это белые или серые пятна, возникающие из-за вымывания растворимых солей. Некоторые добавки, ускоряющие твердение, приводят к образованию солевых разводов и негативно влияют на долговечность композита [14].

Для определения высолообразования на поверхности использовался метод по ГОСТ 30459-2008. Образцы-призмы 40x40x160 см из модифицированных композиций на основе ПФД и СПО помещались в воду на глубину 3-5 см вертикально, обдувались воздухом не менее 3 часов при $20 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 7 дней до открытой поверхности образцов обнаружено образование высолей (рис. 1)

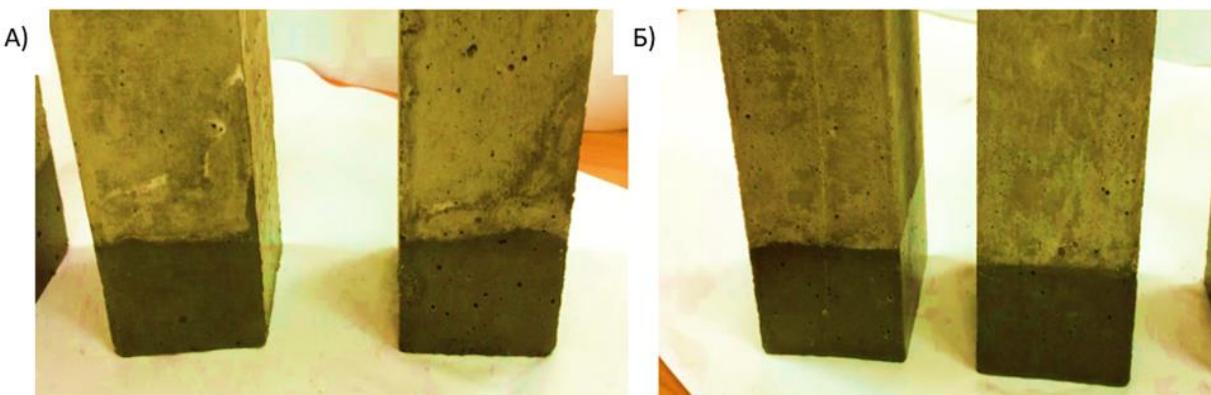


Рис. 1. Образование высола на поверхности исследуемых образцов А-контрольный состав (состав №1); Б-состав на основе комплексной добавки (состав №2)

Анализ результатов, представленных на рис. 1, выявил, что использование комплексного модификатора приводит к существенному снижению интенсивности выщелачивания по сравнению с контрольным составом, не содержащим добавок. В частности, введение добавки ПФД не способствует формированию солей, которые могли бы ускорить процесс твердения бетона.

Наблюдаемые изменения в пористой структуре материала, связанные с СПО, обусловлены протеканием химических реакций с участием данного компонента и вызывать снижения либо полной ликвидации процесс

миграции растворимых солей к поверхности, что необходимо учитывать при проектировании бетонных конструкций [15-17].

Полученные данные свидетельствуют о том, что комплексное модифицирование с использованием ПФД и СПО демонстрирует положительную тенденцию в отношении уменьшения высолообразования.

Коррозионная стойкость мелкозернистого бетона была исследована методом В.В. Кинда [18]. Для оценки устойчивости к агрессивному воздействию сульфатов был рассчитан коэффициент стойкости (Кс),

представляющий собой отношение средней прочности на изгиб образцов, выдержанных в течение 120 дней в 20%-ном растворе Na_2SO_4 , к средней прочности на изгиб контрольных образцов, хранившихся в водной среде аналогичный период времени.

Коэффициент стойкости рассчитывался с точностью до 0,01. В качестве агрессивной среды использовался 20%-ный раствор Na_2SO_4 . Образцы балок

изготавливались из мелкозернистого бетона, обладающего одинаковой подвижностью и прочностными характеристиками, соответствующими требованиям ГОСТ 310.4-81 "Бетоны. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии".

Результаты исследования устойчивости к сульфатной коррозии представлены в табл. 4.

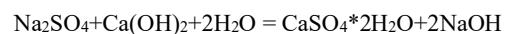
Таблица 4

Сульфатостойкость исследуемых композиций

Составы	Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент стойкости, Кс
	воде	20% раствор Na_2SO_4	воде	20% раствор Na_2SO_4	
Контрольный	7,3	2,48	50,2	9,8	0,34
Комплекс модифицированный	8,2	4,67	57,1	39,4	0,57

Результаты исследований демонстрируют, что введение в бетонную смесь комплексной добавки на основе ПФД и СПО приводит к значительному повышению устойчивости композитов к воздействию сульфатной среды. В частности, увеличение сульфатостойкости составляет 1,73 раза по сравнению с контрольным составом, не содержащим добавки.

Взаимодействие сульфата натрия с гидроксидом кальция, содержащимся в цементном камне, приводит к химической реакции, описываемой следующим уравнением:



В результате данной реакции образуется дигидрат сульфата кальция (гипс), который, кристаллизуясь, оказывает внутреннее давление на поры цементного камня. Это явление способствует возникновению микротрецчин и, как следствие, снижению прочности и долговечности бетона [19].

В рамках данного исследования была проведена оценка устойчивости образцов мелкозернистого бетона к воздействию щелочных сред. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Таблица 5

Щелочестойкость исследуемых композиций

Составы	Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент стойкости, Ки
	воде	20% раствор NaOH	воде	20% раствор NaOH	
Контрольный	7,3	6,8	50,2	45,8	0,93
Комплекс модифицированный	8,2	9,8	57,1	48,5	1,19

Анализ данных, представленных в табл. 5, показывает, что применение комплексной добавки в бетонную смесь приводит к увеличению коэффициента стойкости бетона к щелочной среде на 29%. Это объясняется тем, что щелочная коррозия в значительной степени зависит от плотности бетона, и чем выше плотность, тем выше устойчивость к проникновению щелочных ионов.

Деформация усадки формируется в процессе твердения бетона и представляет собой уменьшение его объёма, обусловленное испарением влаги и протеканием реакций гидратации цемента. В зависимости от времени проявления различают пластическую усадку, возникающую в первые часы после укладки смеси, и длительную, связанную с высыханием затвердевшего бетона.

Усадочные деформации оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики материала. Их развитие способствует возникновению внутренних напряжений и микротрецчин, что приводит к снижению прочности, водонепроницаемости и долговечности конструкций. В связи с этим контроль усадочных процессов, включающий рациональный выбор компонентов и обеспечение оптимальных

условий твердения, является важнейшим фактором повышения качества бетонных изделий.

Линейные усадочные деформации мелкозернистого бетона определялись на образцах-балках размером 40×40×160 мм, выдерживаемых в нормальных условиях. Измерения проводились через 1, 3, 7, 14 и 28 суток с использованием эталонных реперов из нержавеющей стали [20].

Результаты испытаний (рис. 2) показали, что введение комплексных добавок в состав мелкозернистого бетона способствует снижению усадочных деформаций на 21–33 % по сравнению с контрольным составом. Установленный эффект обусловлен влиянием модифицирующих добавок на кинетику и степень гидратации цемента, что обеспечивает более стабильную структуру и уменьшает усадочные процессы.



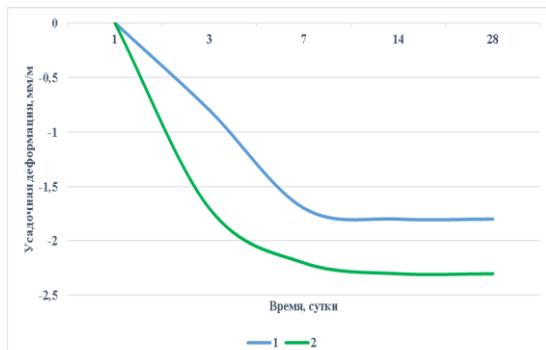


Рис. 2. Деформация усадки исследуемых составов

Исходя из полученных данных, включение ПФД в состав бетонной смеси существенно ускоряет набор

прочности бетона, что увеличивает обрачиваемость форм на заводах и повышает экономическую эффективность производства. Это позволяет сократить время затвердевания и увеличить объем выпускаемых изделий. Кроме того, использование ПФД способствует снижению энергозатрат на тепловую обработку изделий, так как доля потребления пара составляет 18-25% себестоимости производства. На заводах Узбекистана средней потребление пара варьируется от 0,35 до 1,0 Гкал на 1 м³ железобетонных изделий. Для изучения влияния температуры паровоздушной среды на твердение модифицированного бетона с ПФД были проведены эксперименты при температурах 30°C, 40°C, 60°C и 80°C (табл. 6), а также на образцах, хранящихся при обычных условиях в течение 1 суток. Результаты представлены на рис. 3.

Таблица 6

Режимы ТВО

Режимы	Продолжительность ТВО режима				Продолжительность режима, час
	Начальный период	Подъем температуры	Изотермический прогрев	Охлаждения	
А	4 часа при $t=20^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=30^{\circ}\text{C}$	6 часов при $t=30^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=20^{\circ}\text{C}$	16
Б	4 часа при $t=20^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=40^{\circ}\text{C}$	6 часов при $t=40^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=20^{\circ}\text{C}$	16
В	4 часа при $t=20^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=60^{\circ}\text{C}$	6 часов при $t=60^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=20^{\circ}\text{C}$	16
Г	4 часа при $t=20^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=80^{\circ}\text{C}$	6 часов при $t=80^{\circ}\text{C}$	3 часа до $t=20^{\circ}\text{C}$	16

Результаты, представленные на графиках, демонстрируют значительное влияние температуры ТВО на скорость роста прочности бетона. Для 1-го и 3-го составов наблюдается незначительный рост прочности при температурах 30°C и 40°C, однако при 60°C и 80°C наблюдается значительный рост набора прочности. Для

состава с ПФД изменения прочности при обработке в режимах А и Г были незначительными, с разницей 3 МПа. Следует отметить, что при всех исследованных температурах контрольный состав и модифицированные композиции с добавлением POLIMIX показали интенсивное увеличение прочности.

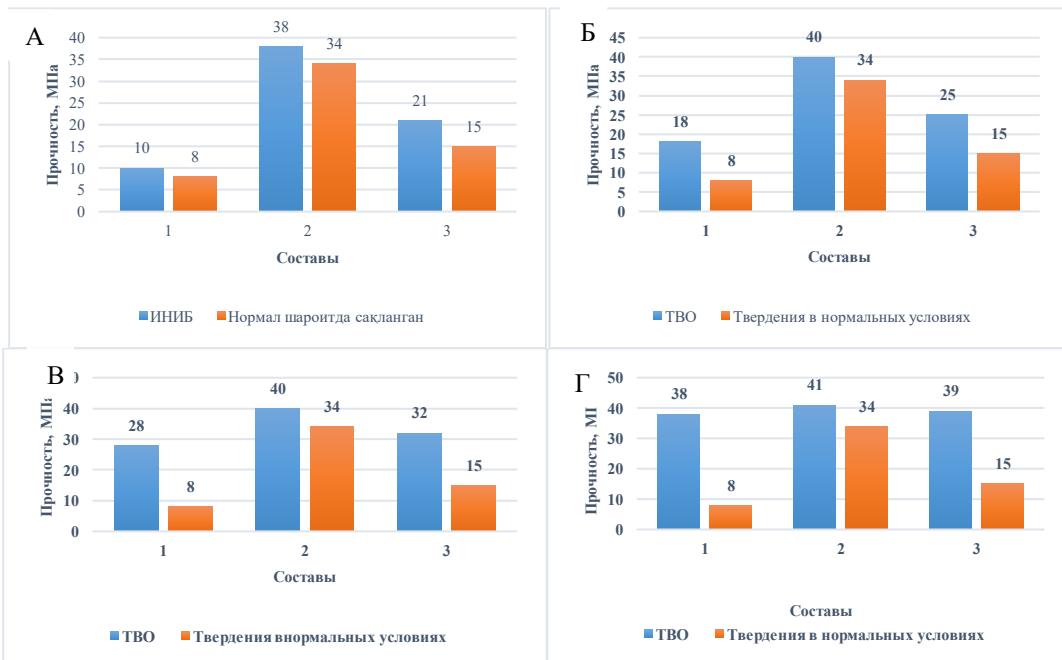


Рис. 3. Влияние режимов ТВО на прочность исследуемых составов



Активность электролитных добавок увеличивается при повышенных температурах, что ускоряет гидролиз. Для изучения влияния низких положительных температур (8°C – 24°C) на эффективность добавки ПФД проведены дополнительные исследования. Испытания выполнялись через сутки после начала твердения образцов. Образцы выдерживались при комнатной температуре ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$) в течение 4 часов до измерения предельной прочности. Результаты представлены на рис. 4.



Рис. 4. Влияние температуры окружающей среды на прочность исследуемых составов

В современном строительстве практически весь бетон производится с применением модифицирующих добавок, что позволяет целенаправленно регулировать свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона. Одним из наиболее эффективных способов повышения его качества является использование комплексных модификаторов, обеспечивающих рост плотности и

прочности. Наиболее широко применяются полифункциональные модификаторы (ПФМ), позволяющие управлять физико-механическими и реологическими характеристиками материала.

При выборе модификаторов необходимо учитывать их комплексное воздействие, поскольку отдельные добавки могут оказывать неблагоприятное влияние на эксплуатационные свойства, в частности вызывать коррозию арматуры, что особенно опасно в предварительно напряжённых конструкциях.

В данной главе представлены результаты исследований коррозионной стойкости арматуры в бетоне, модифицированном комплексными добавками на основе ПФМ и СПО (составы приведены в таблице 7). Испытания проводились по ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методика испытаний». Метод основан на определении характера и степени коррозионных повреждений арматуры при выдерживании образцов в переменных условиях влажности и сравнении полученных данных с критическими значениями [21].

На первом этапе исследований из подготовленных бетонных составов было изготовлено три контрольных образца без арматуры и 27 образцов размером $70\times 70\times 140$ мм с двумя арматурными стержнями, составы которых приведены в таблице 7.

На втором этапе была подготовлена арматура из высококачественной стали класса Вр-І. Всего изготовлено 54 стержня диаметром 4–5 мм и длиной 120 мм. Поверхность каждого стержня, включая торцевые участки, шлифовали абразивной бумагой до чистоты 7-го класса и обезжиривали ацетоном. Массу образцов определяли с использованием высокоточных весов с погрешностью $\pm 0,0001$ г.

Таблица 7

Исследуемые составы бетонных смесей

Состав	Класс бетона	ОК (см)	Расход материалов на 1 м ³ (кг)						
			Цемент	Песок $M_{ii}=2,5$	Щебень Фр.10-20	Вода	СПО/ЗУ	POLIMIXJB1/POLIMIX	В/Ц
			кг	кг	кг	л	кг	кг	-
1	B30	П4 (20)	510	541	1100	220	-	-	0,43
2			331	672	1100	190	110/-	1,4/-	0,43
3			331	672	1100	190	-/110	-/2,83	0,43

Испытания бетонных образцов проводились в условиях переменной влажной и сухой среды на протяжении трёх месяцев после предварительного выдерживания в нормальных условиях при температуре (20 ± 2) °C и относительной влажности 95 %. Результаты испытаний приведены в таблице 8.

По итогам эксперимента установлено, что при шестимесячной экспозиции отсутствие очагов ржавчины и коррозии на поверхности арматуры, а также потеря массы менее 10 г/м² свидетельствуют о сохранении защитных свойств бетона по отношению к стали.

Таблица 8

Результаты исследования образцов, хранившихся в течение 180 дней в переменной влажной и сухой среде

№	Средняя длина стержня, см	Средняя диаметр стержня, см	Средняя площадь стержня, см ²	Площадь коррозионного поражения	Средняя масса образца, гр.		Средняя потеря массы, гр/м ²	
					см ²	%		
1	12,2	0,5	20,724	0,625	3,01	16,87	16,854	8,81
2	12,2	0,5	20,72	1,42	6,8	16,53	16,52	8,98
3	12,15	0,4	16,26	0,495	3,043	10,56	10,55	12,32



Анализ полученных данных показал, что применение комплексных модификаторов на основе ПФУ и ПЭШ не оказывает отрицательного влияния на арматуру. За 180 суток испытаний потеря массы арматуры составила 8,81 г/м² и 8,98 г/м² для составов 1 и 2 соответственно, что соответствует нормативным требованиям. Установлено, что использование композиции с добавкой КУ (состав 3) приводит к ускорению коррозионных процессов вследствие снижения щелочности бетонной среды.

4. Заключение

Анализ пористой структуры исследуемых бетонных композиций показал, что применение комплексного модификатора на основе полифункциональной добавки (ПФД) и сталеплавильного отхода (СПО) способствует значительному улучшению структуры материала. Общая пористость снижается на 30,11 % по сравнению с контрольным составом, а относительный объем пор — на 26,68 %. При сравнении с композициями, содержащими POLIMIX и СПО, уменьшение этих показателей составило 12,3 % и 4,9 % соответственно, что свидетельствует о более выраженном эффекте от применения комплексного модификатора.

Исследования долговечности показали, что совместное использование ПФД и менее активного СПО обеспечивает повышение морозостойкости бетона на три ступени и увеличение водонепроницаемости на два класса относительно контрольного состава. Кроме того, зафиксировано улучшение деформационных характеристик: модуль упругости увеличился на 26 %, а призматическая прочность — на 31 % по сравнению с контрольным образцом. В сравнении с композициями на основе POLIMIX рост данных показателей составил 17 % и 6 % соответственно.

Изучение коррозионной стойкости установило, что модифицирование бетона комплексной добавкой на основе ПФД и СПО обеспечивает повышение устойчивости к агрессивным средам. Так, по отношению к контрольному составу стойкость к сульфатным воздействиям увеличилась в 1,73 раза, а устойчивость к щелочным средам — на 29 %, что подтверждает эффективность комплексного воздействия добавки на защитные свойства цементного камня.

Экспериментальные исследования термического режима твердения показали, что применение ПФД способствует снижению температуры изотермического прогрева бетона с 80 °C до 30 °C, что позволяет реализовать мало- и безпрогревные технологии при производстве железобетонных изделий. Оптимальные температурные диапазоны для безпрогревного твердения составляют 18–24 °C, обеспечивая достаточную прочность и структуру бетона без дополнительного теплового воздействия.

Анализ полученных данных показал, что применение комплексных модификаторов на основе ПФУ и ПЭШ не оказывает отрицательного влияния на арматуру. За 180 суток испытаний потеря массы арматуры составила 8,81 г/м² и 8,98 г/м² для составов 1 и 2 соответственно, что соответствует нормативным требованиям. Установлено, что использование композиции с добавкой КУ (состав 3) приводит к

ускорению коррозионных процессов вследствие снижения щелочности бетонной среды.

Таким образом, проведённые исследования подтверждают, что использование полифункциональной добавки совместно с техногенным микронаполнителем (СПО) обеспечивает комплексное улучшение структуры, прочности и долговечности бетона при одновременном снижении энергетических затрат. Полученные результаты обосновывают целесообразность внедрения комплексных модификаторов нового поколения в технологию производства монолитных и сборных железобетонных конструкций, направленных на повышение энергоэффективности и экологичности строительной отрасли.

Использованная литература / References

- [1] Adylkhodjaev, A. I., Kadyrov, I. A., Umarov, K. S. About the properties of a modified cement binderE3S Web of Conferences2023DOI: 10.1051/e3sconf/202340304017
- [2] Plank, J., Scherer, E., Neubauer, J., Goetz-Neunhoeffer, F. The inter-relationship between polycarboxylate superplasticizers and cement hydrationCement and Concrete Research2010DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.11.002
- [3] Zhang, Y. Q., Sun, T. T., Zhang, S. M. Effect of Polycarboxylate Superplasticizer on Hydration and Microstructure of Cement-Based Materials with SlagConstruction and Building Materials2020DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119429
- [4] Lura, P., Jensen, O. M., Igarashi, S. Influence of slag and fly ash on autogenous shrinkage and strength development of cement pastesACI Materials Journal2004DOI: 10.14359/13210
- [5] Juenger, M. C. G., Winnefeld, F., Provis, J. L., Ideker, J. H. Advances in Sustainable Cementitious BindersCement and Concrete Research2011DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.11.012
- [6] Schröfl, H., Gruber, M., Plank, J. Preferred adsorption of polycarboxylate superplasticizers on cement and microsilica in high-performance concreteCement and Concrete Research2012DOI: 10.1016/j.cemconres.2012.07.009
- [7] Ahmadi, B., Alipour, S. The effect of thermal curing on the mechanical and microstructural properties of concrete containing slag and metakaolinConstruction and Building Materials2018DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.121
- [8] Maltsev, V. A., Smirnova, O. I., Smirnov, V. V. High-performance concrete in low-temperature curing conditionsIOP Conference Series: Materials Science and Engineering2020DOI: 10.1088/1757-899X/913/4/042008
- [9] Sun, T., Fang, Y., Zhang, Z. Corrosion Resistance of Steel Rebar in Concrete Containing Ground Granulated Blast Furnace SlagJournal of Materials in Civil Engineering2019DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002875
- [10] Lothenbach, B., Scrivener, K., Hooton, R. D. Supplementary cementitious materialsCement and Concrete Research2011DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.018



[11] Батраков, В. Г. Модифицированные бетоныМосква: Стройиздат1990Эски монография, DOI йўқ. Классика.

[12] Шейкин, А. Е. Структура, прочность и водонепроницаемость цементного камняМосква: Стройиздат1974Эски монография, DOI йўқ. Фундаментал.

[13] Соломатов, В. И. Основы интенсивной раздельной технологии бетонаТашкент: Фан1983Ўзбекистон илмий мактаби, DOI йўқ.

[14] Калашникова, А. С., Ровенских, Д. В. Влияние техногенных микронаполнителей на свойства цементных композицийВестник БГТУ им. В. Г. Шухова2018URL: elibrary.ru/item.asp?id=32403164

[15] Плугин, А. Н. Применение сталеплавильного шлака в производстве строительных материаловСтроительные материалы2017URL: elibrary.ru/item.asp?id=29388856

[16] Dehwah, A. H. A. Effect of water-cement ratio and pozzolanic materials on the chloride permeability of concreteMaterials and Structures2003DOI: 10.1007/BF02480838

[17] Lapidus, V. I., Lapidus, I. V. Modern trends in concrete technology for low-temperature conditionsIOP Conference Series: Materials Science and Engineering2019DOI: 10.1088/1757-899X/661/1/012020

[18] Кинда, В. В., Дырин, О. В., Королев, Е. В. Разработка ресурсосберегающих технологий бетона, твердеющего в условиях пониженных температурВестник БГТУ им. В. Г. Шухова2017DOI: 10.12737/article_5a2105151b72e9.71101908

[19] Gao, J., Sha, A., Lin, Y. Freeze-thaw resistance of cement stabilized macadam with superplasticizerCold Regions Science and Technology2012DOI: 10.1016/j.coldregions.2012.07.001

[20] Чернышев, Е. М., Золотухин, А. Б. Высокопрочные и высококачественные бетоны на основе техногенного сырьяВоронеж: ВГАСУ2008Монография,

[21] Ramezanianpour, A. A., Esmaili, M. The effect of polycarboxylate superplasticizer on mechanical properties and durability of concrete containing blast-furnace slagConstruction and Building Materials2012DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.03.015

Информация об авторах/ Information about the authors

Адилходжаев Ташкентский государственный транспортный университет, д.т.н., профессор, советник ректора Ташкентского государственного транспортного университета по вопросам стратегического и перспективного развития.
E-mail: anvar_1950@mail.ru
Tel.:+9989339831926
<https://orcid.org/ 0000-0001-5729-5178>

Кадиров Ташкентский институт инженеров Илхом ирригации и механизации сельского хозяйства, д.т.н., доцент.
Абдуллаевич / Ilhom
Kadirov E-mail: ilhom.kadirov.1990@mail.ru
Tel.:+9989973306119
<https://orcid.org/0000-0003-3924-0864>

Тошева Бухарский государственный Илбар технический университет, базовый Фархадовна / докторант.
Dilbar
Tosheva E-mail: toshevalilbar699@gmail.com
Tel.: +998 93 131 60 63
<https://orcid.org/0009-0006-9710-0746>

Раджабов Ташкентский институт инженеров Мирзохид ирригации и механизации Зокир угли / сельского хозяйства, исследователь.
Mirzokhid
Radjabov E-mail: radjabovmirzohid@mail.ru
Tel.:+998881953366
<https://orcid.org/0009-0001-2396-5599>

Умаров Ташкентский институт инженеров Исомиддин ирригации и механизации Инок угли / сельского хозяйства, исследователь.
Isomiddin
Umarov E-mail: isomiddinu@gmail.com,
Tel.:+998930911680
<https://orcid.org/0009-0003-0080-1780>



D. Bekmirzaev <i>Seismic safety of the population and territory of the Republic of Uzbekistan</i>	87
D. Dulobov, Sh. Saidivaliev, D. Abdullaev <i>Optimization of maneuver movements at railway stations</i>	91
P. Begmatov, Sh. Jonkobilov <i>Problems arising on metroways and their solutions</i>	95
S. Kholmirzaev, A. Akhmedov <i>Improving the effectiveness of transport services provided to the population through intellectual transport systems</i>	98
A. Abdualimov <i>Uzbekistan's and foreign experience in ensuring priority movement of urban public transport</i>	102
A. Mukhitdinov, J. Ravshanbekov <i>Digitalization method for calculating vehicle exhaust emissions...</i>	107
Kh. Makhmadaminova <i>Key factors influencing the mentoring system of executive training</i>	111
A. Adilkhodzhaev, I. Kadirov, D. Tosheva, I. Umarov, M. Rajabov <i>Development of a new generation of concrete mixtures based on a technogenic microfiller and a polifunctional additive for low and non-heat-free technologies of making reinforced concrete</i>	115
Kh. Makhmadaminova <i>Problems of implementing the mentoring system in state organizations</i>	124
R. Djuraev, B. Allanazarov, M. Abdikhakimova <i>Increasing the efficiency of piston compressors by improving their lubrication system</i>	128