

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

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 3, ISSUE 1

MARCH, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

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.

The structure-forming effect of microcalcite in cementitious systems for non-autoclaved foamed concrete mixtures

G.S. Nuriddinova¹^a

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This study examines the influence of microcalcite on early structure formation and strength development of a cementitious binder designed for non-autoclaved foamed concrete mixtures. A cement–polycarboxylate superplasticizer system (Master Glenium) incorporating 5% microcalcite by cement mass was investigated. Compressive strength was evaluated at 3, 7, and 28 days, while the phase composition of the hardened cement paste was characterized using X-ray diffraction analysis (CuK α). The results demonstrate that microcalcite enhances the 28-day compressive strength and promotes matrix densification through a filler effect, without inducing the formation of new crystalline phases. These findings confirm the potential of microcalcite as an effective component of modified binders for foamed concrete applications.

Keywords: microcalcite, cementitious binder, non-autoclaved foamed concrete, superplasticizer, early structure formation, compressive strength, X-ray diffraction analysis, filler effect

Структурообразующая роль микрокальцита в цементных системах, предназначенных для пенобетонных смесей

Нуриддинова Г.С.¹^a

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В работе исследовано влияние микрокальцита на раннее структурообразование и прочность цементного вяжущего, предназначенного для неавтоклавных пенобетонных смесей. Рассмотрена система «цемент – поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium» с введением микрокальцита в количестве 5 % от массы цемента. Прочность при сжатии определяли в возрасте 3, 7 и 28 суток, фазовый состав цементного камня анализировали методом рентгенофазового анализа (CuK α). Установлено, что введение микрокальцита способствует повышению прочности цементного камня к 28 суткам и уплотнению структуры за счёт filler effect без образования новых кристаллических фаз. Полученные результаты подтверждают перспективность применения микрокальцита в составе модифицированных вяжущих для пенобетонных технологий.

Ключевые слова: микрокальцит, цементное вяжущее, неавтоклавный пенобетон, суперпластификатор, раннее структурообразование, прочность при сжатии, рентгенофазовый анализ, filler effect

1. Введение

Пенобетон относится к ячеистым бетонам, эксплуатационные свойства которых в значительной степени определяются устойчивостью пенной структуры и прочностью межпоровых перегородок [1,5]. Для неавтоклавных технологий решающую роль играет раннее структурообразование цементного вяжущего, обеспечивающее фиксацию поровой структуры, в связи с чем всё большее внимание уделяется модификации вяжущего, предназначенного для пенобетонных смесей [4,5]. Установлено, что изменение дисперсного состава и реологических характеристик цементной пасты позволяет косвенно управлять устойчивостью пены и равномерностью распределения пор в пенобетоне [1,2].

Суперпластификатор является важным компонентом вяжущих систем для пенобетонных

смесей, поскольку позволяет снизить водоцементное отношение и повысить прочность цементного камня. В рамках настоящей работы был проведён эксперимент по определению оптимального содержания суперпластификатора, обеспечивающего рост прочностных характеристик. По результатам ранее выполненных авторами экспериментальных исследований установлено, что применение выбранного суперпластификатора в количестве 1 % от массы цемента обеспечивает увеличение прочности цементного камня примерно на 14 % по сравнению с эталонным составом. Вместе с тем экспериментально выявлено, что использование суперпластификатора сопровождается замедлением ранних стадий гидратации и существенным увеличением сроков начала схватывания. Для пенобетонных смесей данное обстоятельство является неблагоприятным фактором, поскольку удлинение периода пластичного состояния может приводить к снижению устойчивости пенной

^a  <https://orcid.org/0009-0005-4832-4623>



структуры на начальном этапе твердения. Таким образом, возникает необходимость дополнительной модификации вяжущего, направленной на интенсификацию раннего структурообразования и компенсацию замедляющего действия суперпластификатора.

В этой связи целью настоящей работы является исследование влияния микрокальцита в системе «цемент – суперпластификатор» на прочностные характеристики и раннее структурообразование вяжущего, предназначенного для пенобетонных смесей.

2. Методика исследования

В работе исследовали цементное вяжущее, рассматриваемое как основа для пенобетонных смесей. В качестве основного вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ II/A-K (З-И) 42,5Н «Ахангаранцемент». Для модификации цементной системы применяли минеральную микродобавку карбонатной природы — микрокальцит (CaCO_3) Кашкадарьинского карьера, характеризующийся мелкой дисперсностью и высокой удельной поверхностью, составляющей $8735 \text{ см}^2/\text{г}$. Дозировка микрокальцита составляла 5 % от массы цемента.

В качестве химической добавки использовали поликарбоксилатный суперпластификатор «Master Glenium» в количестве 1% от массы цемента, обеспечивающий требуемую подвижность цементной пасты при пониженном водосодержании.

Были приготовлены следующие составы: контрольный (цемент + вода) – R, состав с микрокальцитом и суперпластификатором – M5C. Образцы формовали в кубиковую форму с размерами $20 \times 20 \times 20$ мм. Образцы выдерживали в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 95 % в

соответствии с требованиями ГОСТ 310.4–81 и ГОСТ 10180–2012. Испытания на сжатие выполняли в возрасте 3, 7 и 28 суток на гидравлическом прессе в соответствии с ГОСТ 10180–2012, регистрируя максимальную нагрузку, соответствующую разрушению образцов.

Рентгенофазовый анализ цементного камня выполняли при излучении $\text{CuK}\alpha$ в диапазоне углов $2\theta = 5\text{--}75^\circ$ с качественной и полуквантитативной интерпретацией фазового состава. Результаты РФА и испытаний на сжатие использовали для оценки эффективности модификации цементного вяжущего, предназначенного для пенобетона, с позиции раннего структурообразования и формирования межпоровых перегородок.

3. Результаты и обсуждение

Результаты испытаний показали, что введение микрокальцита (CaCO_3) в количестве 5 % от массы цемента в системе «цемент – суперпластификатор» оказывает существенное влияние на развитие прочности цементного камня по сравнению с контрольным составом. В таблице 1 представлены результаты испытаний прочности цементного камня контрольного состава и модифицированного состава с микрокальцитом в возрасте 3, 7 и 28 суток, а их графическое представление показано на рис. 1. Контрольный состав характеризуется увеличением средних значений прочности от 63,4 МПа в возрасте 3 суток до 74,3 МПа в возрасте 7 и 28 суток, при этом наблюдается значительный разброс результатов, что отражается в росте коэффициента вариации от 16,3 % до 35,9 % к 28 суткам твердения. Для состава M5C в возрасте 3 суток среднее значение прочности составляет 55,1 МПа, с последующим увеличением до 68,3 МПа к 7 суткам и 83,4 МПа к 28 суткам твердения.

Таблица 1

Сравнительная прочность цементного камня контрольного и модифицированного составов в зависимости от возраста твердения

Состав	W/C	Возраст, сут	Прочность при сжатии, МПа (min–max)	Среднее, МПа	Медиана, МПа	SD, МПа	CV, %
*R (цем. + вода)	0,30	3	45,2 – 71,8	63,4	66,7	10,3	16,3
		7	52,1 – 100,8	74,3	73,0	19,6	26,4
		28	43,0 – 118,5	74,3	73,2	26,7	35,9
**M5C (цем. + 5 % CaCO_3 + 1% СП)	0,20	3	45,7 – 63,9	55,1	55,7	8,6	15,6
		7	57,7 – 82,4	68,3	67,1	10,3	15,1
		28	72,8 – 93,4	83,4	83,2	8,8	10,5

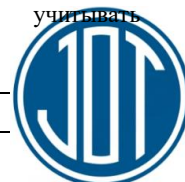
Примечание: *Разброс значений обусловлен малым размером образцов и ручным формованием, что повышает чувствительность результатов к локальным неоднородностям.

** Коэффициент вариации (10–15 %) обусловлен малым размером образцов и ручным формованием; при этом близость средних и медианных значений свидетельствует о достаточной воспроизводимости результатов.

Следует отметить, что для модифицированного состава M5C во все сроки твердения значения стандартного отклонения и коэффициента вариации ниже по сравнению с контрольным составом. К 28 суткам твердения коэффициент вариации для состава с микрокальцитом составляет 10,5 %, тогда как для контрольного состава он достигает 35,9 %, что отражает различия в разбросе экспериментальных данных между исследуемыми составами.

Высокие значения прочности контрольного состава являются закономерными, поскольку испытания

проводились на плотном цементном камне при низком водоцементном отношении ($W/C=0,30$), что соответствует данным литературы для цементных паст без поровой структуры [6, 7]. Пониженные значения W/C (0,20–0,30) и применение поликарбоксилатного суперпластификатора обеспечивают уплотнение цементной матрицы и снижение пористости. Введение микрокальцита проявляется преимущественно через интенсификацию раннего структурообразования, что важно для формирования межпоровых перегородок в пенобетонных технологиях. Следует учитывать



возможный масштабный эффект, связанный с малым размером образцов (20 мм), и необходимость дальнейшей проверки результатов на пенобетонных смесях.

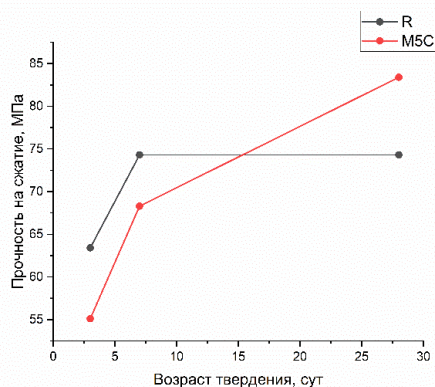


Рис. 1. Развитие прочности цементного камня контрольного состава (R) и состава с микрокальцитом (M5C) в зависимости от возраста твердения

Выявленные различия в уровне и разбросе прочностных характеристик обусловили необходимость анализа фазового состава цементного камня. В связи с этим для контрольного и модифицированного составов были проведены исследования методом рентгенофазового анализа. Результаты рентгенофазового анализа цементного камня контрольного состава (R) и модифицированного состава с микрокальцитом (M5C) в возрасте 3, 7 и 28 суток представлены на дифрактограммах (рис.2, 3, 4).

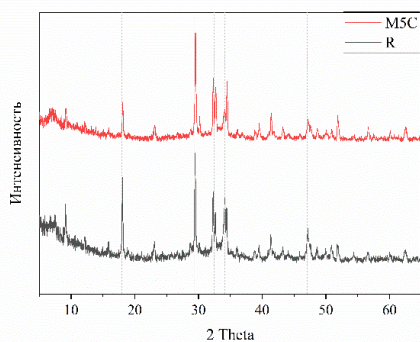


Рис. 2. Рентгенофазовые дифрактограммы цементного камня контрольного состава (R) и состава, модифицированного микрокальцитом (M5C), в возрасте 3 суток твердения (CuK α); отмечены основные рефлексы портландита и кальцита

Анализ дифрактограмм показал, что для обоих составов характерно присутствие типичных фаз, формирующихся в процессе гидратации цемента.

На дифрактограммах цементного камня в возрасте 3 суток идентифицируются характерные рефлексы портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($2\theta \approx 18,0^\circ$ и $34,1^\circ$), а также остаточные пики клинкерных минералов в области $2\theta \approx 32-33^\circ$, что свидетельствует о продолжающейся гидратации цемента. В составе с микрокальцитом (M5C)

фиксируется повышение интенсивности рефлекса кальцита CaCO_3 при $2\theta \approx 29,4^\circ$, что подтверждает присутствие карбонатной добавки и её участие в формировании более плотной структуры на раннем этапе твердения. Полученные данные согласуются с прочностными результатами, показывающими сопоставимый уровень прочности на 3 суток.

В возрасте 7 суток в контрольном составе фиксируются основные фазы гидратированного цемента: портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($2\theta \approx 18,0^\circ$ и $34,1^\circ$), кальцит ($2\theta \approx 29,4^\circ$) и сульфалоюминатные гидраты (AFt/AFm) в низкоугловой области. Повышенный аморфный фон в диапазоне $20-35^\circ 2\theta$ соответствует накоплению C-S-H геля и развитию структурообразования.

Для состава с микрокальцитом (5 %) доминирует рефлекс кальцита при $2\theta \approx 29,4^\circ$, при сохранении характерных отражений портландита. Усиление интенсивности гидратных фаз по сравнению с 3 сутками указывает на уплотнение цементного камня, что согласуется с увеличением прочности модифицированного состава к 7 суткам примерно на 24 %.

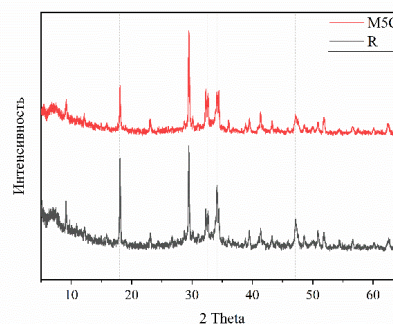


Рис. 3. Рентгенофазовые дифрактограммы цементного камня контрольного состава (R) и состава, модифицированного микрокальцитом (M5C), в возрасте 7 суток твердения (CuK α); отмечены основные рефлексы портландита и кальцита

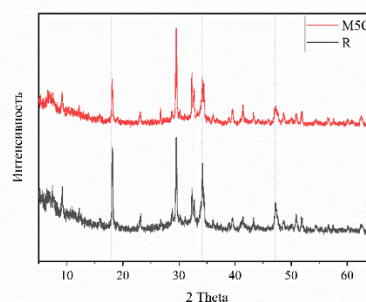


Рис. 4. Рентгенофазовые дифрактограммы цементного камня контрольного состава (R) и состава, модифицированного микрокальцитом (M5C), в возрасте 28 суток твердения (CuK α); отмечены основные рефлексы портландита и кальцита

В возрасте 28 суток в контрольном составе сохраняются характерные рефлексы портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($2\theta \approx 18,0^\circ$ и $34,1^\circ$) и кальцита ($2\theta \approx 29,4^\circ$), а выраженный аморфный фон в области $20-35^\circ 2\theta$

соответствует С–S–Н гелю.

В составе с микрокальцитом (5 %) доминирует отражение кальцита при $2\theta \approx 29,4^\circ$ при сохранении порландита и слабых клинкерных фаз, что указывает на структурирующую роль добавки и уплотнение С–S–Н матрицы. Данные РФА согласуются с ростом прочности модифицированного состава к 28 суткам до ≈ 83 МПа.

Анализ экспериментальных данных показывает, что воздействие микрокальцита в системе «цемент – суперпластификатор» реализуется преимущественно через механизмы раннего структурообразования и изменения межфазных взаимодействий в цементной пасте. На начальных стадиях твердения существенную роль играет адсорбция поликарбоксилатного суперпластификатора на поверхности цементных частиц, что приводит к их дефлокуляции, снижению водопотребности и повышению дисперсности системы. Одновременно адсорбционный слой СП способен замедлять начальную гидратацию клинкерных минералов, удлиняя индукционный период и снижая скорость формирования первичного пространственного каркаса гидратных новообразований.

Сопоставление прочностных характеристик контрольного состава R и модифицированного состава M5C показывает, что в возрасте 3 суток прочность системы с микрокальцитом несколько ниже, что может быть связано с преобладанием диспергирующего и замедляющего эффекта суперпластификатора на раннем этапе. Однако введение тонкодисперсного микрокальцита обеспечивает выраженный filler effect, заключающийся в уплотнении упаковки частиц и формировании дополнительных центров кристаллизации гидратных фаз. Это способствует ускорению роста С–S–Н геля и повышению когезионной прочности цементного камня на последующих стадиях твердения.

Уже к возрасту 7 суток наблюдается стабилизация прочностных показателей, что отражает переход системы к активной стадии гидратации и развитию пространственно-сетчатой структуры гидросиликатов кальция. В возрасте 28 суток модифицированный состав M5C демонстрирует более высокий уровень прочности – на 12 % больше чем контрольной, что свидетельствует о формировании более плотной и однородной микроструктуры. Повышение прочности в данном случае может быть обусловлено не только ростом когезии гидратного геля, но и улучшением адгезионного сцепления между продуктами гидратации и поверхностью карбонатных частиц, которые выступают в роли микрозаполнителя и структурного модификатора.

Результаты рентгенофазового анализа (рис. 2–4) подтверждают, что введение микрокальцита не изменяет основной набор фаз цементного камня, представленный порландитом и кальцитом. Усиление отражений кальцита в составе M5C указывает на структурирующую роль тонкодисперсной добавки, реализующуюся через эффект микрозаполнителя и центров кристаллизации. Рост аморфной составляющей в области $20\text{--}35^\circ 2\theta$ свидетельствует о накоплении С–S–Н геля и уплотнении матрицы, что согласуется с повышением прочности модифицированного состава. Таким образом, микрокальцит способствует формированию более плотной структуры цементного камня без образования новых кристаллических фаз, что

важно для ранней фиксации поровой структуры пенобетона.

4. Заключение

Установлено, что введение микрокальцита (5 %) в систему «цемент – суперпластификатор» способствует уплотнению структуры цементного камня и повышению прочности к 28 суткам по сравнению с контрольным составом. Данные рентгенофазового анализа подтверждают преимущественно физико-структурный механизм действия добавки (filler effect) без образования новых кристаллических фаз. Полученные результаты позволяют предположить, что применение микрокальцита в составе вяжущего для пенобетонных смесей может оказывать положительное влияние на раннюю фиксацию поровой структуры и формирование прочных межпоровых перегородок. Указанный эффект требует дальнейшего экспериментального подтверждения и будет предметом последующих исследований, направленных на оценку ценных свойств и устойчивости пенобетонных смесей.

Использованная литература / References

- [1] Gencil O., Sutcu M., Erdogmus E., Kocyigit F. A detailed review on foam concrete composites // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – No. 5. – Article 2341.
- [2] Wang X., Zhang Z., Liu Y., Li S. Investigation of silica fume as foam cell stabilizer for foamed concrete // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 235. – Article 117490.
- [3] Moon G.D., Oh S., Jung S.H., Choi Y.C. Effects of limestone powder on hydration and strength development of cement paste // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Vol. 135. – P. 129–136.
- [4] Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Модифицированные бетоны и бетоны специального назначения. – М.: АСВ, 2018. – 368 с.
- [5] Ферронская А.В., Калашников В.И. Ячеистые бетоны. Структура, свойства, технологии. – М.: Стройиздат, 2016. – 320 с.
- [6] Maruyama I., Rymeš J. Effects of water–cement ratio and curing conditions on strength development and pore structure of cement paste // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. No. 9. P. 807–816. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.05.008.
- [7] Neville A.M. *Properties of Concrete*. 5th ed. London: Pearson Education, 2011. 872 p.

Информация об авторах / Information about the authors

Нуриддинова Гавхар / Gavkhar Nuriddinova – Докторант кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений» Ташкентского государственного транспортного университета.
E-mail: nuriddinova_gavhar@mail.ru
Тел.: +998959801077
<https://orcid.org/0009-0005-4832-4623>



D. Nigmatova, J. Sobirov, A. Ibadullaev, Sh. Mamaev <i>Structural, physical, and chemical properties of acetylene production secondary raw materials (ACE) and their application in composite elastomers</i>	48
O. Turdiev, T. Nurmukhamedov, B. Karimova <i>Methods of mathematical modeling of the processes of reading and inventory of goods in warehouses</i>	52
D. Nigmatova, J. Sobirov, A. Ibadullaev, Sh. Mamaev <i>Influence of carbon-containing materials and furan oligomers on the technological and performance characteristics of rubber compositions</i>	56
U. Khusenov <i>Comparative analysis of analytical methods for evaluating the carrying capacity of railway sections</i>	60
D. Butunov, Sh. Daminov <i>Experience in organizing suburban transportation</i>	67
N. Khodjiev, K. Muminov <i>Deflection behavior of reinforced concrete beams with hybrid steel – glass fiber composite reinforcement</i>	75
N. Khodjiev, K. Muminov <i>Crack resistance of reinforced concrete beams with hybrid steel– glass composite reinforcement</i>	80
A. Khalikov, O. Ibragimova <i>Analysis of directional antennas for wireless data transmission systems</i>	85
A. Khalikov, O. Ibragimova <i>Study of strip elements for phased antenna arrays</i>	89
G. Nuriddinova <i>The structure-forming effect of microcalcite in cementitious systems for non-autoclaved foamed concrete mixtures</i>	92