

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 3, 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 3

SEPTEMBER, 2026



jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 3 SEPTEMBER, 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.

Application of industrial carbonate waste in concrete technology

I. Makhamataliev¹, V. Soy¹^a, N. Mukhammadiev¹^b, F. Abdukayumov¹,
N. Erdanov¹, Sh. Uzakov¹, A. Jumageldiev¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract:

The article examines the technological potential of using industrial carbonate waste in heavy concrete. Such waste includes stone dust and sludge generated from the sawing of limestone, marble, and dolomite, crushed carbonate rock screenings, and fine-grained waste from mining and stone-processing enterprises. It is shown that, when properly processed and dosed, carbonate waste can serve as a microfiller, partially replace cement or the mineral fraction of fine aggregate, increase the density of cement paste, and reduce the consumption of clinker-based components. Based on a computational-experimental model, concrete mix compositions, graphs showing changes in strength, workability, water absorption, and the estimated carbon footprint are presented. For concrete with a strength class of approximately B30–B35, the optimal range is considered to be the replacement of 5–15% of cement by mass with carbonate waste, provided that the fineness of grinding, moisture content, and the levels of clay impurities, sulfates, and chlorides are strictly controlled.

Keywords:

carbonate waste, limestone powder, marble dust, concrete, microfiller, cement paste, resource conservation, strength, water absorption

Применение карбонатных отходов промышленности в технологии бетона

Махаматалиев И.М.¹, Цой В.М.¹^a, Мухаммадиев Н.Р.¹^b, Абдукаюмов Ф.О.¹,
Эрданов Н.И.¹, Узаков Ш.А.¹, Жумагельдиев А.О.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация:

В статье рассмотрены технологические возможности применения карбонатных отходов промышленности в составе тяжелого бетона. К таким отходам относятся каменная пыль и шлам от распиловки известняка, мрамора и доломита, отсеvy дробления карбонатных пород, тонкодисперсные отходы горнодобывающих и камнеобрабатывающих предприятий. Показано, что при рациональной подготовке и дозировании карбонатные отходы могут выполнять функции микронаполнителя, частично замещать цемент или минеральную часть мелкого заполнителя, повышать плотность цементного камня и снижать расход клинкерной составляющей. На основе расчетно-экспериментальной модели приведены составы бетонных смесей, графики изменения прочности, подвижности, водопоглощения и расчетного углеродного следа. Оптимальной областью для бетона класса прочности порядка В30–В35 является замещение цемента карбонатным отходом в пределах 5–15% по массе при обязательном контроле тонкости помола, влажности, содержания глинистых примесей, сульфатов и хлоридов.

Ключевые слова:

карбонатные отходы, известняковая мука, мраморная пыль, бетон, микронаполнитель, цементный камень, ресурсосбережение, прочность, водопоглощение

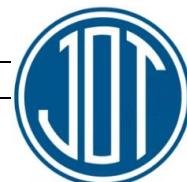
1. Введение

Применение Бетон остается основным конструкционным материалом современного строительства, однако производство портландцемента связано с высоким расходом энергии и выбросами CO₂. Одним из практических направлений снижения материалоемкости бетона является вовлечение местных

минеральных отходов в технологию бетонных смесей. Особый интерес представляют карбонатные отходы, так как они широко образуются при добыче, дроблении и распиловке известняка, мрамора и доломита. Значительная часть таких отходов имеет тонкодисперсный состав, не требует сложной химической активации и после сушки, измельчения и классификации может быть использована как минеральный компонент бетона.

^a <https://orcid.org/0009-0006-9599-1776>

^b <https://orcid.org/0000-0002-2306-3317>



Карбонатный отход в бетоне не следует рассматривать только как инертную замену цемента. Мелкие частицы CaCO_3 способны заполнять микропустоты между зернами цемента и песка, служить поверхностью для зарождения гидратных новообразований, а также участвовать во взаимодействии с алюминатными фазами цемента с образованием карбоалюминатных гидратов. Вместе с тем чрезмерное количество карбонатного порошка вызывает эффект разбавления цемента: снижается доля клинкерных минералов, уменьшается количество C-S-H-геля и ухудшаются прочностные характеристики. Поэтому задача технологии заключается не в максимизации, а в оптимальном использовании отхода.

Цель и задачи исследования

Целью работы является обоснование рационального применения карбонатных отходов промышленности в технологии бетона с оценкой их влияния на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона.

Для достижения цели решались следующие задачи: определить основные виды карбонатных отходов, пригодных для бетонных смесей; предложить схему подготовки отходов к применению; разработать модельные составы бетона с частичным замещением цемента; оценить изменение прочности, подвижности, водопоглощения и расчетного CO_2 -следа;

сформулировать технологические рекомендации по внедрению.

2. Методика исследования

В качестве базового вяжущего принимается портландцемент нормальной активности. Карбонатный отход используется в виде тонкодисперсного порошка, полученного путем сушки и помола шлама камнеобработки или отсевов дробления карбонатных пород. Для практического внедрения рекомендуется доводить влажность отхода до стабильного значения, исключать крупные включения, проводить просевы через сито 0,315 мм и контролировать содержание CaCO_3 , MgCO_3 , глинистых частиц, органических примесей, сульфатов и хлоридов.

В расчетной части принята серия бетонных смесей, где карбонатный отход замещает часть цемента в количестве 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30% по массе. Водопорошковое отношение сохранялось постоянным, а расход воды корректировался суперпластификатором до сопоставимой удобоукладываемости. Такой подход позволяет выявить оптимальную дозировку, при которой положительное влияние микронаполнителя превышает отрицательный эффект разбавления цемента.

Таблица 1

Модельные составы бетона с карбонатным отходом, кг/м³

Компонент	Б0	Б5	Б10	Б15	Б20	Б25	Б30
Цемент	400	380	360	340	320	300	280
Карбонатный отход	0	20	40	60	80	100	120
Вода	168	168	168	168	168	168	168
Песок	680	680	680	680	680	680	680
Щебень	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080
Суперпластификатор	3.2	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2

Примечание. Табличные значения приведены как расчетно-экспериментальная модель для подготовки

статей и могут быть заменены фактическими лабораторными данными конкретного сырья.



Рис. 1. Технологическая схема подготовки и применения карбонатного отхода в бетоне



Механизм действия карбонатных отходов в цементной системе

Влияние карбонатного отхода на структуру бетона определяется тремя основными эффектами. Первый эффект – физическое уплотнение: тонкие частицы заполняют межзерновые пустоты и уменьшают объем капиллярных пор. Второй эффект – ускорение начальной гидратации: поверхность кальцита служит центром

кристаллизации гидросиликатов кальция, что повышает раннюю прочность. Третий эффект – химико-минералогическое взаимодействие: карбонат-ионы могут стабилизировать карбоалюминатные фазы, что способствует более плотной структуре цементного камня. При избытке порошка проявляется четвертый, отрицательный эффект – разбавление цемента, поэтому прочность после 15–20% замещения обычно снижается.

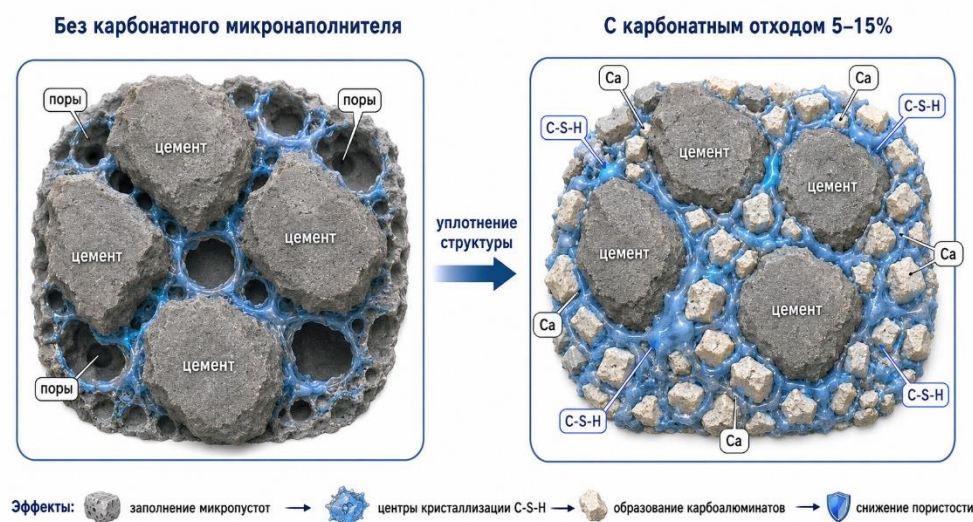


Рис. 2. Схема влияния карбонатного микронаполнителя на микроструктуру цементного камня

3. Результаты и их обсуждение

Результаты расчетно-экспериментального моделирования показывают, что введение 5–15% карбонатного отхода повышает прочность бетона по сравнению с контрольным составом. Наиболее выраженный эффект получен при дозировке 10%, где

прочность при сжатии в возрасте 28 суток составила 46,8 МПа против 42,0 МПа у контрольного бетона. Прирост прочности связан с уплотнением цементного камня и ускорением образования гидратных новообразований. При увеличении содержания отхода до 20–30% прочность снижается, что объясняется уменьшением количества цементного клинкера и недостаточным образованием связующих гидратов.

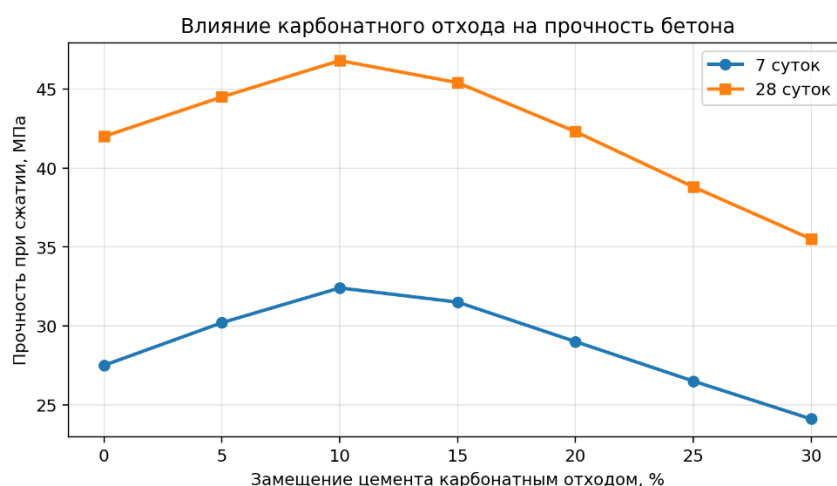


График 1 – Изменение прочности бетона при сжатии в зависимости от дозировки карбонатного отхода

Подвижность бетонной смеси зависит от формы и удельной поверхности частиц. При дозировке 5% наблюдается небольшое улучшение удобоукладываемости вследствие уплотнения зернового состава. Дальнейшее увеличение количества тонкодисперсного отхода повышает водопотребность

смеси, поэтому без применения водоредуцирующей добавки возможна потеря подвижности. Для производственных условий целесообразно применять поликарбоксилатный суперпластификатор и корректировать расход воды по фактической влажности отхода.



График 2 – Изменение осадки конуса бетонной смеси при частичном замещении цемента

Водопоглощение является косвенным показателем пористости. Минимальное значение в принятой модели получено при 10% замещения цемента, что подтверждает уплотняющее действие карбонатного микронаполнителя. При 20–30% замещения водопоглощение возрастает, так как уменьшается доля цементного камня, способного

формировать плотную гидратную структуру. Следовательно, при проектировании бетона для влажных, морозных и сульфатных сред необходимо не только оценивать прочность, но и проверять водонепроницаемость, морозостойкость и химическую стойкость.

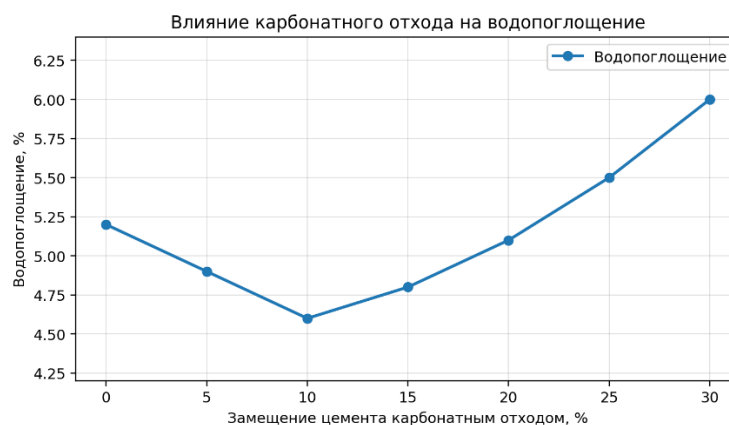


График 3 – Влияние карбонатного отхода на водопоглощение бетона

Экологический эффект применения карбонатных отходов связан с уменьшением расхода портландцемента и утилизацией отходов камнеобработки. В расчетной модели исходный расход цемента составляет 400 кг/м³. При замещении 10% цемента экономится около 40 кг цемента на 1 м³ бетона, что снижает расчетный CO₂-след

материала. Однако экологический эффект не должен достигаться за счет потери долговечности: если высокая дозировка отхода приводит к росту водопоглощения и снижению прочности, фактическая устойчивость конструкции может ухудшиться.

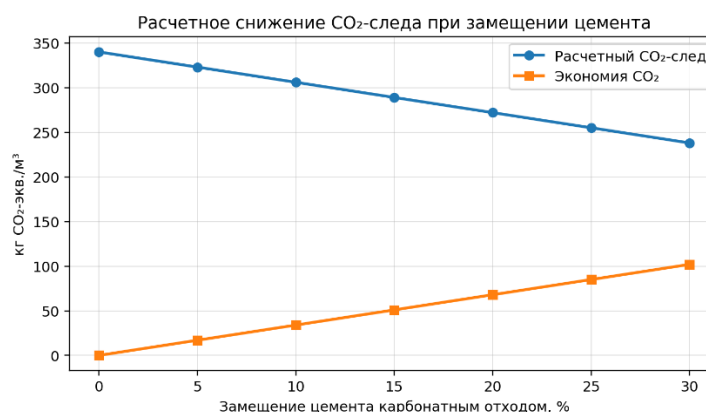


График 4 – Расчетное снижение CO₂-следа бетона при замещении части цемента карбонатным отходом



Таблица 2

Обобщенные показатели расчетно-экспериментальной серии

Состав	Отход, %	Рсж 28 сут., МПа	Осадка конуса, см	Водопоглощение, %
Б0	0	42.0	15.5	5.2
Б5	5	44.5	16.2	4.9
Б10	10	46.8	15.8	4.6
Б15	15	45.4	14.6	4.8
Б20	20	42.3	13.2	5.1
Б25	25	38.8	11.8	5.5
Б30	30	35.5	10.3	6.0

Технологические рекомендации

Для промышленного применения карбонатных отходов в бетоне рекомендуется соблюдать следующие условия. Во-первых, отход должен проходить входной контроль по гранулометрическому составу и химической стабильности. Наличие глинистых включений, органических примесей, растворимых солей и повышенной влажности может резко ухудшить качество бетона. Во-вторых, рациональная дозировка должна устанавливаться не только по прочности, но и по комплексу показателей: подвижности, средней плотности, водопоглощению, морозостойкости, водонепроницаемости и стойкости в агрессивных средах. В-третьих, при использовании карбонатных порошков в бетонах, работающих в сульфатных условиях, необходимо применять специальные меры защиты: сульфатостойкий цемент, пуццолановые добавки, снижение водоцементного отношения и обязательную проверку расширения образцов.

Наиболее перспективным является комплексный подход, при котором карбонатный отход применяется совместно с активной минеральной добавкой: золой-уносом, доменным гранулированным шлаком, микрокремнеземом или метакраулином. В таком случае карбонатный компонент выполняет роль микронаполнителя и источника карбонат-ионов, а активная добавка связывает $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и повышает плотность структуры. Это позволяет снизить расход цемента без существенной потери прочности и долговечности.

4. Заключение

1. Карбонатные отходы промышленности могут быть использованы в технологии бетона как тонкодисперсный минеральный компонент, частично замещающий цемент или корректирующий зерновой состав мелкой фракции.

2. Основной положительный эффект карбонатного отхода проявляется при дозировке 5–15% по массе цемента: повышается плотность цементного камня, ускоряется ранняя гидратация и уменьшается капиллярная пористость.

3. В расчетно-экспериментальной модели наибольшая прочность при сжатии получена при 10% замещения цемента: 46,8 МПа против 42,0 МПа у контрольного состава.

4. При дозировке более 20% проявляется эффект разбавления цемента, вследствие чего снижается прочность и повышается водопоглощение бетона.

5. Применение карбонатных отходов снижает расход клинкерного цемента и способствует утилизации

отходов камнеобработки, однако экологический эффект должен подтверждаться испытаниями долговечности.

6. Перед внедрением в производство необходимо выполнить химический, минералогический и гранулометрический контроль отхода, а также испытать бетон на прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость к агрессивным средам.

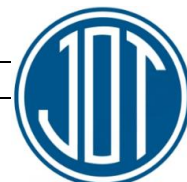
Использованная литература / References

- [1] Wang D., Shi C., Farzadnia N., Shi Z., Jia H., Ou Z. A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 181. P. 659–672. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.075.
- [2] Zhao L. et al. Effect of Limestone Powder Mixing Methods on the Performance of Mass Concrete. Materials. 2024. Vol. 17(3). 617. DOI: 10.3390/ma17030617.
- [3] Li X. et al. Recent Developments on the Effects of Micro- and Nano-Limestone on the Hydration Process and Properties of Cement-Based Materials. Materials. 2024. Vol. 17(9). 2133. DOI: 10.3390/ma17092133.
- [4] Abbas M.M. et al. Marble Powder as a Sustainable Cement Replacement. Sustainability. 2025. Vol. 17(2). 736. DOI: 10.3390/su17020736.
- [5] ASTM C1797-24. Standard Specification for Ground Calcium Carbonate and Aggregate Mineral Filler for Use in Hydraulic Cement Concrete. ASTM International, 2024.
- [6] EN 197-5:2021. Cement – Part 5: Portland-composite cement CEM II/C-M and Composite cement CEM VI. European Committee for Standardization, 2021.
- [7] Tennis P.D. State-of-the-Art Report on Use of Limestone in Cements at Levels of up to 15%. Portland Cement Association, 2024.
- [8] Kim Y.J. et al. Evaluation of the Efficiency of the Limestone Powder in Concrete and the Effects on the Environment. Sustainability. 2018. Vol. 10(2). 550. DOI: 10.3390/su10020550.

Информация об авторах / Information about the authors

Махаматалиев
Иркин
Муминович /
Irkin
Makhamadaliev

Ташкентский государственный
транспортный университет,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Строительство зданий и
промышленных сооружений "



Цой Владимир Михайлович / Vladimir Soy	Тел.: + 998908066545 E-mail: erkinmah@mail.ru
	Ташкентский государственный транспортный университет, доктор технических наук, профессор кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Тел.: + 998909521576 E-mail: volodya_atsoy@inbox.ru https://orcid.org/0009-0006-9599-1776
Мухаммадиев Немаматжон Рахматович / Nematjon Mukhammadiev	Заведующий кафедрой "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентский государственный транспортный университет, DSc. Тел.: + 998909111106 https://orcid.org/0000-0002-2306-3317
	Докторант кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентского
Абдукаюмов Фаррух Отабек угли / Farrukh Abdukaumov	

Эрданов Нодирбек Ибрагимович / Nodirbek Erdanov	государственного транспортного университета Тел.: + 998773367879 E-mail: fabduqayumov99@gmail.com
	Директора унитарного предприятия "Транспорт тармоқларини қуриш" в составе унитарного предприятия "Ўзтемирйулқурилишмонтаж."
Узаков Шербек Акбарович / Sherbek Uzakov	Ташкентский государственный транспортный университет, PhD, и.о. доцента кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Тел.: + 998998905427 E-mail: uzakosherbek9@gmail.com
	Ташкентский государственный транспортный университет, ассистент кафедры «Строительство зданий и промышленных сооружений». Тел.: + 998914077060 E-mail: jumageldiyevaziz@gmail.com
Жумагелдиев Азиз Олимович / Aziz Jumageldiev	



A. Gulomova

Current state and development prospects of heat-insulating cellular concrete for individual residential buildings.....115

F. Usarkulova, E. Abdurahmanova, M. Botirov

Regression model of service system optimization based on digitalization.....120

E. Abdurahmanova, F. Usarkulova, M. Botirov

Mathematical modeling and artificial intelligence methods for oil filtration processes in multilayer porous media: An analytical review.....124

Sh. Khakimov, D. Odilov, U. Isokhanov

Analysis of oil products consumption and exchange processes by trucks moving under the conditions of the Kamchik pass.....132

J. Djumanov, M. Sobirov

Multi-level energy-information model and physics-informed FUZZY-GA-LSTM adaptive algorithms for hybrid energy monitoring.....139

T. Muminov, D. Dolieva

Comprehensive assessment of the operational performance indicators of motor vehicles considering seasonal operating conditions.....148

S. Norkulov

Concept for improving the management system of “Tashkent metropoliteni” JSC based on regional operational hubs.....156

I. Makhamataliev, V. Soy, N. Mukhammadiev,**F. Abdukayumov, N. Erdanov, Sh. Uzakov,****A. Jumageldiev**

Effect of carbonate waste particle size on the structure and durability of heavyweight concrete.....163

I. Makhamataliev, V. Soy, N. Mukhammadiev,**F. Abdukayumov, N. Erdanov, Sh. Uzakov,****A. Jumageldiev**

Application of industrial carbonate waste in concrete technology.....171