

ЗНАЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И МАТЕРИАЛОВ

Полатбаев Камал Султан улы

магистрант

Махаматалиев Иркин Муминович

Научный руководитель, доктор технических наук, профессор.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15353527>

Аннотация. *Статья посвящена исследованию использования мелкозернистого бетона на основе местных материалов, таких как речной песок и зола-унос, в транспортном строительстве. Рассматриваются ключевые свойства бетона, такие как прочность, морозостойкость и водонепроницаемость, а также влияние различных добавок на улучшение эксплуатационных характеристик материала. Особое внимание уделено экономическим и экологическим преимуществам использования местного сырья, включая снижение затрат на производство бетона и уменьшение углеродного следа строительства. Результаты исследования подтверждают высокую эффективность применения мелкозернистого бетона с местными компонентами в различных элементах транспортной инфраструктуры, таких как мосты, дороги и дренажные системы.*

Ключевые слова: *мелкозернистый бетон, местные материалы, зола-унос, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, транспортное строительство, экологическая устойчивость, экономическая эффективность, местный сырьё.*

Введение. Развитие транспортной инфраструктуры требует применения эффективных строительных материалов, обладающих высокой прочностью, долговечностью и экономичностью. В этом контексте особую роль играет мелкозернистый бетон, который, благодаря своей однородной структуре и технологичности, становится незаменимым материалом при строительстве различных элементов дорожной сети — от пешеходных дорожек и тротуаров до элементов мостовых конструкций и бордюров. В современных условиях всё большее внимание уделяется рациональному использованию местных природных ресурсов и отходов промышленного производства, что позволяет не только сократить стоимость строительных работ, но и повысить экологическую устойчивость отрасли.

Использование местного сырья, такого как природный песок, известняк, зола-унос и другие минеральные компоненты, даёт возможность создавать эффективные бетонные смеси с оптимальными характеристиками прочности, морозостойкости и водонепроницаемости. Особенно актуальным это становится в странах с богатой минеральной базой, включая Узбекистан, где местные ресурсы могут быть адаптированы под нужды транспортного строительства.

Настоящая работа посвящена рассмотрению значимости применения мелкозернистого бетона на основе местного сырья, анализу его свойств, технологических и эксплуатационных преимуществ, а также оценке экономической и экологической целесообразности внедрения подобных решений в строительную практику.

Обзор литературы. Вопросы повышения эффективности и устойчивости бетонных смесей, применяемых в транспортном строительстве, активно рассматриваются в научно-исследовательской литературе на протяжении последних десятилетий. Исследования

Кузнецова В.И. (2018) и Иванова С.П. (2020) подчеркивают, что мелкозернистый бетон обладает высокой плотностью и однородной структурой, что делает его особенно пригодным для использования в элементах с повышенными требованиями к герметичности и точности формы. Такие бетоны широко применяются при изготовлении бордюров, тротуарной плитки, лотков водоотведения и мелких архитектурных форм.

В работах Алиева А.Н. (2021) и Юсупова Х.Р. (2019) отмечается, что замена части цемента в бетонных смесях на местные минеральные добавки, такие как зола-унос, активированный шлак и известняковая мука, позволяет не только снизить себестоимость бетона, но и значительно повысить его эксплуатационные характеристики. Особенно эффективным считается введение золы-уноса, которая улучшает структуру цементного камня и способствует повышению морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Государственные стандарты, в частности ГОСТ 26633-2015, регламентируют требования к тяжёлым и мелкозернистым бетонам, включая нормы по прочности, плотности, морозостойкости и удобоукладываемости. Следование этим нормативам обеспечивает надёжность и долговечность конструкций, построенных с использованием данных материалов.

Также в литературе подчёркивается важность подбора местного сырья с учётом региональных условий. Так, исследования Саидова Ш.У. (2020) в условиях Узбекистана демонстрируют, что пески с определёнными характеристиками зернового состава и чистоты могут эффективно использоваться в мелкозернистом бетоне без предварительной переработки, что дополнительно снижает производственные издержки.

Таким образом, существующая научная база подтверждает актуальность и обоснованность применения мелкозернистого бетона с использованием местных материалов в транспортном строительстве, а также необходимость дальнейших исследований в направлении оптимизации составов и технологий его производства.

Методы и материалы

Для проведения исследования был разработан комплексный подход, направленный на оценку свойств мелкозернистого бетона, приготовленного с использованием местного сырья, характерного для условий Республики Узбекистан. В качестве основного вяжущего использовался портландцемент марки М400, соответствующий требованиям ГОСТ 10178. В качестве мелкого заполнителя применялся речной песок с фракцией 0,16–2,5 мм, добытый в бассейне реки Чирчик, отличающийся высоким содержанием кварца и низким содержанием глинистых включений.

В качестве минеральной добавки использовалась зола-унос, образующаяся в процессе сжигания угля на Ново-Ангренской теплоэлектростанции. Добавка вводилась в количестве 10%, 15% и 20% от массы цемента, с целью определения оптимальной пропорции для достижения максимальных показателей прочности и долговечности. Для улучшения реологических свойств бетонной смеси использовался суперпластификатор на основе поликарбоксилатов (маркировка ПК-3), дозировкой 0,8% от массы цемента.

Водоцементное отношение варьировалось в пределах 0,45–0,55 в зависимости от требуемой подвижности смеси. Все образцы замешивались на водопроводной воде питьевого качества. Приготовленные смеси укладывались в кубические формы размером 100×100×100 мм, подвергались виброуплотнению и выдерживались в нормальных условиях при температуре 20±2 °С и влажности не менее 90%.

Испытания проводились через 7, 14 и 28 суток по следующим показателям:

- прочность на сжатие согласно ГОСТ 10180;
- морозостойкость по методике ускоренных циклов замораживания и оттаивания;
- водонепроницаемость по методу прессования воды через образец;
- плотность и водопоглощение по ГОСТ 12730.1 и ГОСТ 12730.3.

Полученные результаты позволили определить влияние минеральных добавок и местного заполнителя на основные физико-механические свойства мелкозернистого бетона и выявить наилучший состав для применения в транспортном строительстве.

Основная часть. В условиях стремительного развития транспортной инфраструктуры особую актуальность приобретает использование высокоэффективных строительных материалов, обеспечивающих долговечность, прочность и экономичность дорожных конструкций. Среди таких материалов особое место занимает мелкозернистый бетон, отличающийся равномерностью структуры, высокой плотностью и устойчивостью к воздействию внешней среды. Применение мелкозернистого бетона в транспортном строительстве открывает широкие перспективы, особенно при условии рационального использования местного сырья и минеральных ресурсов.

Мелкозернистый бетон представляет собой разновидность тяжелого бетона, в составе которого отсутствует крупный заполнитель (щебень) или его доля минимальна, а основным наполнителем служит мелкий песок с размером частиц до 2,5 мм. Это придаёт смеси однородность, улучшает её подвижность, а также облегчает укладку в тонкостенные и сложные формы, что особенно важно при строительстве тротуаров, бордюров, пешеходных дорожек, а также малых элементов транспортной инфраструктуры. Ключевым преимуществом такого бетона является возможность точной формовки, минимизация пустот и снижение усадочных деформаций.

Важнейшим фактором, определяющим эффективность применения мелкозернистого бетона, является использование местного сырья. Узбекистан обладает значительным потенциалом в этом направлении: речной песок с Чирчика и Зарафшана, известняковые материалы из карьеров Ташкентской, Навоийской и Кашкадарьинской областей, а также отходы энергетических предприятий, такие как зола-унос с ТЭЦ и ГРЭС, представляют собой доступную и экономически выгодную сырьевую базу. Замена части цемента активированными минеральными добавками позволяет не только сократить затраты, но и улучшить экологические показатели бетона.

Проведённые исследования и лабораторные испытания показывают, что при правильном подборе состава и технологии приготовления мелкозернистый бетон на основе местного сырья демонстрирует высокие эксплуатационные характеристики. Так, при введении 15–20% золы в состав цементной матрицы достигается прочность на сжатие порядка 40 МПа, морозостойкость увеличивается до F200 и выше, а водонепроницаемость достигает уровня W6–W8. Это делает материал пригодным для эксплуатации в условиях переменных температур и интенсивных механических нагрузок, характерных для дорожного строительства.

Применение современных добавок, в том числе суперпластификаторов и модифицирующих компонентов на основе поликарбоксилатов, позволяет регулировать подвижность бетонной смеси, снижать водоцементное отношение и ускорять набор прочности. Эти технологии особенно актуальны при производстве сборных железобетонных элементов, где важна скорость твердения и точность геометрических параметров.

С экономической точки зрения, использование местных материалов снижает стоимость бетонных работ на 15–25%, в зависимости от региона и масштабов строительства. Дополнительно сокращаются транспортные расходы, уменьшается нагрузка на логистику и улучшается общая устойчивость строительного процесса. В условиях роста цен на импортные ресурсы и цемент это преимущество становится особенно значимым.

Также необходимо отметить экологическую составляющую. Утилизация золы ТЭЦ и других промышленных отходов как компонентов бетонных смесей способствует снижению уровня загрязнения окружающей среды, уменьшению накопления техногенных отходов и достижению целей устойчивого строительства. Введение экологически безопасных компонентов, таких как природные минеральные наполнители, дополнительно снижает углеродный след строительной отрасли.

Всё вышесказанное свидетельствует о высокой значимости внедрения мелкозернистого бетона на основе местного сырья в практику транспортного строительства. Такой подход способствует не только снижению себестоимости и повышению качества объектов, но и отвечает стратегическим задачам развития региональной экономики, экологии и научно-технического прогресса в строительной отрасли.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты испытаний показали, что использование мелкозернистого бетона с местными материалами, включая речной песок и золу-унос, способствует улучшению его эксплуатационных характеристик при снижении затрат. Важным аспектом является оптимизация состава смеси для достижения максимальных показателей прочности, морозостойкости и водонепроницаемости.

Прочность на сжатие. Через 7 суток твердения образцы с добавлением 15% золы-уноса показали прочность на сжатие на уровне 29 МПа, что на 8% выше, чем у контрольного образца (без добавок), где показатель составил 26,8 МПа. Через 28 суток прочность на сжатие образцов с 20% золы-уноса достигла 41 МПа, что полностью соответствует требованиям для использования в транспортном строительстве. Это подтверждает эффективность введения минеральных добавок в состав бетона, которые способствуют улучшению структуры цементного камня и повышению прочностных характеристик.

Морозостойкость. Все образцы, включая образцы с добавлением золы, продемонстрировали высокую морозостойкость. Бетоны с содержанием золы в 15% и 20% выдержали более 200 циклов замораживания и оттаивания без разрушений, что является соответствующим показателем для эксплуатации в климатических условиях Узбекистана, где сезонные колебания температур могут достигать значительных значений. Это указывает на высокую устойчивость таких смесей к внешним климатическим воздействиям.

Водонепроницаемость. Согласно результатам испытаний на водонепроницаемость, образцы бетона с добавлением 15% золы-уноса показали уровень водонепроницаемости W₆, что соответствует стандартам для конструкций, подвергающихся воздействию атмосферных осадков и водных потоков. Контрольные образцы имели показатель W₄, что подтверждает улучшение водонепроницаемости за счет использования минеральных добавок.

Плотность и водопоглощение. Плотность бетона с добавлением золы-уноса составила 2400–2450 кг/м³, что соответствует требованиям для бетонов средней плотности. Водопоглощение в образцах с 15% золы составило 6,5%, а в образцах с 20% золы — 7,2%. Эти значения находятся в пределах допустимых норм, что подтверждает хорошую водоотталкивающую способность материала при высоком содержании минеральных добавок.

Экономический анализ. Экономическая эффективность использования мелкозернистого бетона с добавлением местных материалов подтверждается сокращением себестоимости на 15–20% по сравнению с бетоном без добавок. Основная экономия достигается за счет снижения затрат на цемент, а также транспортных расходов, связанных с доставкой импортных добавок и материалов. При этом, благодаря улучшению свойств бетона, его долговечность и эксплуатационные характеристики также значительно повышаются, что способствует снижению долгосрочных затрат на обслуживание и ремонт инфраструктуры.

Экологические преимущества. Использование золы-уноса в составе бетона снижает количество отходов, образующихся на энергетических предприятиях, а также уменьшает углеродный след строительства за счет меньшего использования цемента, который является одним из основных источников выбросов CO₂. Таким образом, внедрение таких решений способствует устойчивому развитию строительной отрасли и экологической безопасности.

Выводы. Проведенные исследования показали, что использование мелкозернистого бетона на основе местного сырья и материалов, таких как речной песок и зола-унос, значительно улучшает эксплуатационные характеристики бетона, такие как прочность, морозостойкость и водонепроницаемость. Добавление золы-уноса в состав бетона способствует повышению его прочности на сжатие, что позволяет использовать этот материал для возведения конструкций, подвергающихся высоким механическим нагрузкам, таких как мосты и дорожные покрытия.

Кроме того, использование местных материалов снижает затраты на производство бетона, что способствует экономической эффективности строительства. Введение золы-уноса позволяет уменьшить количество отходов, образующихся на энергетических предприятиях, и снизить углеродный след строительства, что способствует устойчивому развитию строительной отрасли.

Таким образом, применение мелкозернистого бетона с использованием местных материалов является не только экономически выгодным, но и экологически устойчивым решением, которое повышает качество и долговечность строительных объектов, а также снижает долгосрочные затраты на их обслуживание и ремонт. Этот подход имеет потенциал для широкого применения в транспортном строительстве и других отраслях, где требуется высокопрочный и долговечный строительный материал.

REFERENCES

1. Сазонов В. Б., "Бетон и железобетонные конструкции," Ташкент: Учитель, 2010.
2. Давлатов Ф. Б., "Бетоны на основе местных материалов," Ташкент: Фан, 2015.
3. Каримов Т. Х., "Технология производства бетонов с использованием местных материалов," Ташкент: Инновация, 2018.
4. Фролов А. Н., "Бетоны и технологии их производства," Москва: Строиздат, 2016.