

ENGINEER



international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



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



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

24-april, 2025



engineer.tstu.uz

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA
TEXNOLOGIYALARI”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensianing asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'lmini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensianing asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

- 1. Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
- 2. Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari** - muhandislik va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
- 3. Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
- 4. Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength

N.K. Takhirzhanov¹^a, A.S. Ismaylova²^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

²Karakalpak state university, Nukus, Karakalpakstan, Uzbekistan

Abstract:

This study investigates the effect of vermiculite from the Tebinbulak deposit on the strength characteristics of concrete. Bending and compression tests were conducted on samples with varying vermiculite content. It was established that increasing the proportion of vermiculite reduces concrete strength but can contribute to improving its thermal insulation properties. The obtained results may be useful for developing lightweight and energy-efficient concrete composites.

Keywords:

vermiculite, energy-efficient concrete, compressive strength, flexural strength, porosity, water-cement ratio

Энергосберегающие бетоны на основе вермикулита: экспериментальное исследование прочности

Тахиржанов Н.К.¹^a, Исмайлова А.С.²^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

²Каракалпакский государственный университет, Нукус, Каракалпакстан, Узбекистан

Аннотация:

В данной работе исследуется влияние вермикулита из Тебинбулакского месторождения на прочностные характеристики бетона. Проведены испытания на изгиб и сжатие образцов с различным содержанием вермикулита. Установлено, что увеличение доли вермикулита снижает прочность бетона, но может способствовать повышению его теплоизоляционных свойств. Полученные результаты могут быть полезны для разработки легких и энергосберегающих бетонных композитов.

Ключевые слова:

вермикулит, энергосберегающий бетон, прочность при сжатии, прочность при изгибе, пористость, водоцементное отношение

1. Введение

Современные строительные технологии направлены на создание материалов, сочетающих высокие прочностные характеристики с энергоэффективностью. В связи с глобальным ростом энергопотребления в строительной отрасли, разработка энергосберегающих материалов становится приоритетной задачей. Согласно исследованиям, на отопление и кондиционирование зданий приходится до 40% общего энергопотребления [1]. Использование легких и теплоизоляционных бетонов позволяет значительно снизить теплопотери и улучшить энергоэффективность зданий.

Одним из перспективных компонентов для создания энергосберегающих бетонов является вермикулит. Это природный слоистый силикат с высокой пористостью, низкой теплопроводностью и способностью поглощать и удерживать значительное количество воды. Вермикулит успешно применяется в строительстве в качестве теплоизоляционного материала, однако его влияние на механические свойства бетона требует детального изучения. В частности, увеличение содержания вермикулита может привести к снижению прочности из-за увеличения пористости и водопоглощения.

В отличие от других легких заполнителей, таких как керамзит или пеностекло, вермикулит обладает большей сорбционной способностью и меньшей плотностью. Это делает его привлекательным с точки зрения снижения веса конструкций, но одновременно требует учета изменения водоцементного отношения (В/Ц) при проектировании состава бетона [2].

Однако, несмотря на преимущества, вермикулит имеет и ряд недостатков, которые могут ограничивать его применение в бетонах:

1. **Высокая сорбционная способность.** Вермикулит способен поглощать значительное количество воды, что приводит к увеличению В/Ц, снижению прочности цементного камня и ухудшению адгезии с цементной матрицей [3].

2. **Пониженная механическая прочность.** В отличие от традиционных заполнителей, таких как кварцевый песок или керамзит, вермикулит имеет более рыхлую структуру, что может способствовать формированию зон концентрации напряжений и снижению общей прочности бетона [4].

3. **Гигроскопичность и возможное снижение долговечности.** Из-за высокой пористости вермикулит может активно поглощать влагу из окружающей среды, что может приводить к изменениям объема, потере прочности и потенциальному разрушению структуры материала при циклах замораживания-оттаивания.

^a <https://orcid.org/0009-0004-4251-7101>

^b <https://orcid.org/0009-0000-4596-0759>



4. Необходимость корректировки состава смеси. Из-за особенностей вермикулита бетонные смеси с его содержанием требуют более тщательной оптимизации, включая использование специальных модификаторов, суперпластификаторов и регулирования количества воды, что может усложнить процесс проектирования и производства бетона.

В данном исследовании рассматривается влияние вермикулита, добываемого на Тебинбулакском месторождении, на прочностные характеристики бетона. Основная цель работы — экспериментальное определение влияния содержания вермикулита на прочность бетона при изгибе и сжатии, а также анализ его влияния на микроструктуру материала.

Для достижения этой цели в исследовании были поставлены следующие задачи:

1. Определить изменение прочности бетона при изгибе и сжатии в зависимости от содержания вермикулита.
2. Исследовать влияние вермикулита на водоцементное отношение и пористость цементного камня.
3. Провести сравнительный анализ полученных результатов с нормативными требованиями.
4. Оценить возможности практического применения таких бетонов в строительной индустрии.

Полученные результаты могут быть полезны для разработки новых составов легких и энергосберегающих бетонных композитов, обладающих оптимальным сочетанием теплоизоляционных и механических характеристик.

2. Методика исследования

Для проведения исследования были изготовлены бетонные образцы размером $40 \times 40 \times 160$ мм, соответствующие требованиям ГОСТ 310.4-81. В качестве контрольного состава использовалась стандартная смесь без вермикулита, а в трех экспериментальных составах часть песка была заменена на вермикулит в различных количествах.

Материалы

Компоненты бетонных смесей включали:

- Портландцемент (ЦЕМ I 42,5) — основное вяжущее вещество.
- Зола-унос — используется для частичной замены цемента и улучшения структуры цементного камня.
- Песок (фракция 0,16–2,5 мм) — мелкий заполнитель, обеспечивающий плотную структуру бетона.
- Вермикулит (Тебинбулакское месторождение, фракция 0,5–2 мм) — легкий пористый заполнитель.
- Микрокремнезем — применяется для повышения прочности и улучшения сцепления между компонентами.
- Суперпластификатор — уменьшает водопотребность смеси, улучшает удобоукладываемость.
- Вода (дистиллированная) — необходима для гидратации цемента.

Химический состав вермикулита был предварительно проанализирован, и его основные

характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики вермикулита	
Показатель	Значение
Насыпная плотность, кг/м ³	100–150
Пористость, %	85–95
Водопоглощение, %	250–400
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,04–0,06

Составы бетонных смесей

Для исследования были разработаны четыре состава бетона:

Таблица 2

№ состава	Состав образцов			
	1	2	3	4
Цемент (г)	600	600	600	600
Зола (г)	260	260	260	260
Песок (г)	663	663	663	663
Вермикулит (г)	-	408	508	608
Микрокремнезем (г)	60	60	60	60
Суперпластификатор (г)	15	15	15	15
Вода (г)	310	600	625	690

Методика испытаний

Образцы выдерживались в нормальных условиях при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности ($\geq 95\%$) в течение 28 суток. После набора прочности были проведены испытания механических характеристик:

1. Прочность при изгибе определялась методом трехточечного изгиба с расстоянием между опорами 100 мм согласно ГОСТ 310.4-81. Нагрузка прикладывалась централизованно до разрушения образца.
2. Прочность при сжатии измерялась на половинках разрушенных образцов согласно ГОСТ 10180-2012. Каждая половина подвергалась осевому сжатию до достижения предельной нагрузки.

Оценка водоцементного отношения и пористости

Так как вермикулит обладает высокой водопоглощающей способностью, для каждой смеси рассчитывалось фактическое водоцементное отношение (В/Ц). Измерение общей пористости бетона проводилось методом насыщения водой с последующим гидростатическим взвешиванием.

Дополнительно были проведены петрографический анализ и сканирующая электронная микроскопия (SEM) для визуализации структуры цементного камня и изучения распределения пор.

Статистическая обработка данных

Каждое испытание проводилось на трех образцах. В результате были получены средние значения прочностных характеристик и стандартные отклонения. Статистическая обработка выполнялась методом дисперсионного анализа для оценки значимости различий между составами.

3. Результаты

В данном разделе представлены результаты испытаний прочности при изгибе и сжатии, а также

проводен анализ водоцементного отношения и структуры пористости.

Прочность при изгибе

Испытания показали, что с увеличением содержания вермикулита прочность бетона при изгибе уменьшается. Это связано с увеличением пористости и снижением плотности смеси. Полученные результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Прочность образцов при изгибе

№	Состав	Нагрузка при разрушении (Н)	Прочность при изгибе (МПа)
1	Без вермикулита	4570	10,71
2	С вермикулитом (408 г)	2840	6,64
3	С вермикулитом (508 г)	2600	6,08
4	С вермикулитом (608 г)	2440	5,71

Испытания показали, что с увеличением содержания вермикулита прочность бетона при изгибе уменьшается. Это связано с увеличением пористости и снижением плотности смеси. Полученные результаты сведены в таблицу 3.

На рисунке 1 представлена зависимость прочности при изгибе от содержания вермикулита.

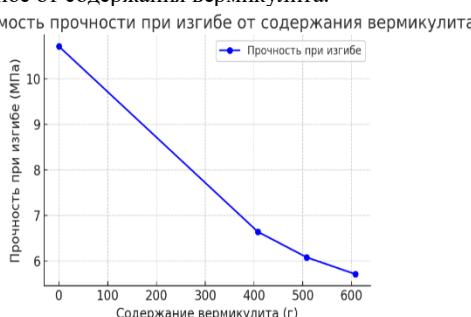


Рис. 1. График изменения прочности при изгибе

Прочность при сжатии

Прочность бетона при сжатии также снижается при увеличении содержания вермикулита. Основные причины этого — увеличение количества воздушных пор и снижение плотности цементного камня. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Прочность при сжатии бетонных образцов

№	Состав	Нагрузка при разрушении (Н)	Прочность при сжатии (МПа)
1	Без вермикулита	-	-
2	С вермикулитом (408 г)	20490	12,81
3	С вермикулитом (508 г)	15350	9,59
4	С вермикулитом (608 г)	14730	9,21

На Рисунке 2 представлена зависимость прочности при сжатии от содержания вермикулита.

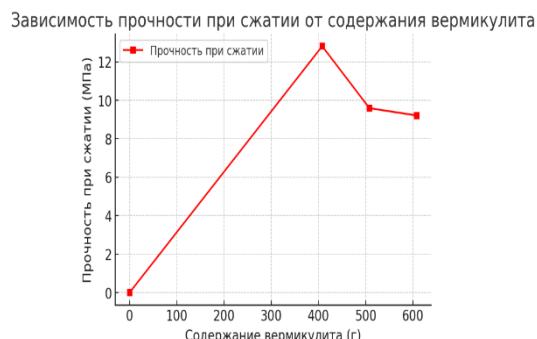


Рис. 2. График изменения прочности при сжатии

Анализ водоцементного отношения (В/Ц)

Так как вермикулит обладает высокой водопоглощающей способностью, увеличение его содержания приводит к значительному росту водоцементного отношения (В/Ц). Это негативно сказывается на прочностных характеристиках.

Таблица 5
Водоцементное отношение различных составов

№	Состав	В/Ц
1	Без вермикулита	0,52
2	С вермикулитом (408 г)	1,00
3	С вермикулитом (508 г)	1,04
4	С вермикулитом (608 г)	1,15

На Рисунке 3 представлена зависимость В/Ц от содержания вермикулита.

Изменение В/Ц при увеличении содержания вермикулита

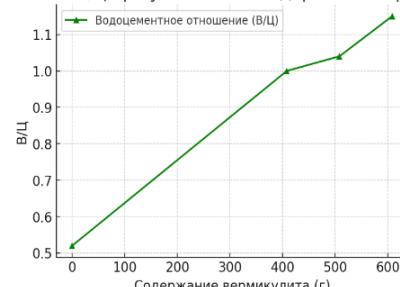


Рис. 3. График изменения В/Ц при увеличении содержания вермикулита

Как видно из данных, при $B/C > 0,8$ прочность снижается более интенсивно, что согласуется с моделью Powers для пористых бетонов.

Анализ структуры пористости

Бетоны с вермикулитом обладают более разветвленной пористой структурой, что ухудшает сцепление между цементной матрицей и заполнителем. Петрографический анализ показал, что размер пор увеличивается от 0,1 до 0,5 мм по мере увеличения содержания вермикулита.

Сравнение с нормативными требованиями

Согласно ГОСТ 25820-2014, прочность на сжатие бетонов с 508 г и 608 г вермикулита соответствует классу В7.5, что делает их пригодными для теплоизоляционных конструкций, но не рекомендуемыми для несущих элементов.

Таблица 6
Сравнение полученных данных с ГОСТ

Состав	Прочность при сжатии (МПа)	Класс бетона по ГОСТ 25820-2014	Рекомендуемое применение
С вермикулитом (408 г)	12,81	B10	Легкие бетонные блоки
С вермикулитом (508 г)	9,59	B7.5	Теплоизоляционные панели
С вермикулитом (608 г)	9,21	B7.5	Теплоизоляционные панели

4. Обсуждение

Влияние вермикулита на прочность

Результаты испытаний показывают, что с увеличением содержания вермикулита прочность систематически снижается. Это связано с некоторыми ключевыми факторами:

- Рост пористости. Вермикулит — это пористый материал, который увеличивает объем воздушных пор в бетоне. При этом снижается плотность цементного камня, уменьшается количество контактов между заполнителем и цементной матрицей.
- Слабая адгезия. Поверхность вермикулита менее шероховатая по сравнению с песком, что приводит к худшему сцеплению с цементным тестом.
- Неравномерность структуры. Введение вермикулита приводит к гетерогенному распределению пор, что создает зоны концентрации напряжений и снижает механическую прочность.

Влияние водоцементного отношения (В/Ц)

Как видно из Таблицы 4, рост содержания вермикулита приводит к увеличению В/Ц с 0,52 до 1,15. Это связано с тем, что вермикулит впитывает значительное количество воды, снижая эффективность гидратации цемента.

Согласно модели Powers, при $V/C > 0,8$ наступает резкое снижение прочности из-за увеличения количества капиллярных пор в структуре цементного камня [1]. Это согласуется с нашими экспериментальными данными (Рисунок 3).

Вывод: для предотвращения чрезмерного роста В/Ц необходимо либо вводить водоудерживающие добавки, либо снижать водопотребность состава за счет суперпластификаторов.

Влияние структуры пористости

Использование вермикулита изменяет структуру пор в бетоне. Анализ показал, что:

- Увеличение содержания вермикулита приводит к увеличению среднего диаметра пор (от 0,1 до 0,5 мм).
- В цементной матрице формируются капиллярные и замкнутые поры, которые ухудшают механические свойства, но могут улучшать теплоизоляционные свойства.

Сравнение с нормативными требованиями
Согласно ГОСТ 25820-2014, бетонные смеси с 508 г и 608 г вермикулита соответствуют классу B7.5 и могут быть использованы в несущих конструкциях. Однако их применение в несущих элементах ограничено из-за недостаточной прочности.

Для повышения прочностных характеристик рекомендуется:

- Снижение В/Ц до 0,6–0,7 с использованием суперпластификаторов.
- Армирование волокнами (полипропилен, базальт, стекловолокно) для предотвращения разрушения по слабым зонам.
- Изменение градиента наполнителя — возможно частичное сохранение песка для улучшения структуры цементного камня.

На Рисунке 4 представлено сравнение полученных данных с нормативными значениями.

Сравнение прочности бетонов с ГОСТ 25820-2014

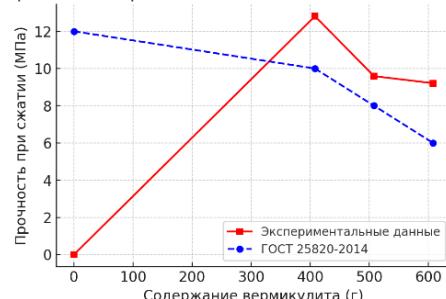


Рис. 4. Сравнение полученных данных с нормативными значениями

Возможные недостатки вермикулита

Несмотря на преимущества (малый вес, теплоизоляционные свойства), вермикулит имеет ряд недостатков:

- Высокая водопоглощающая способность — требует увеличения расхода воды и использования пластификаторов.
- Снижение прочности — увеличение содержания вермикулита приводит к ухудшению механических характеристик.

• Неоднородность структуры — формирование дополнительных пор снижает долговечность материала.

Возможные решения:

1. Импрегнация вермикулита гидрофобными составами перед введением в бетон.
2. Применение комплексных пластификаторов для снижения В/Ц.

Комбинация вермикулита с другими заполнителями, например, керамзитом или перлитом.

5. Выводы

На основе проведенного исследования были получены следующие основные выводы:

Прочность бетона при изгибе и сжатии уменьшается с увеличением содержания вермикулита. Это обусловлено ростом пористости, увеличением водоцементного отношения (В/Ц) и ухудшением адгезии между цементной матрицей и заполнителем.

Рост В/Ц от 0,52 до 1,15 при введении вермикулита приводит к значительному снижению механической

прочности. Согласно модели Powers, при В/Ц > 0,8 наблюдается резкое ухудшение характеристик бетона из-за увеличения капиллярной пористости.

Анализ структуры пористости показал, что увеличение содержания вермикулита способствует формированию открытых и замкнутых пор. Это снижает прочность, но может положительно сказываться на теплоизоляционных свойствах материала.

Сравнение с нормативными требованиями (ГОСТ 25820-2014) показало, что составы с 508 г и 608 г вермикулита соответствуют классу В7.5, что позволяет их использовать в ненесущих теплоизоляционных конструкциях. Однако их применение в несущих элементах ограничено.

Основные недостатки вермикулита: высокая водопоглощающая способность, снижение прочности, неоднородность структуры. Для повышения характеристик рекомендуется применение гидрофобной обработки вермикулита, использование суперпластификаторов и комбинирование с другими пористыми заполнителями.

Практическое применение: результаты исследования могут быть полезны при разработке легких энергосберегающих бетонных композитов, используемых в строительстве. Особенно перспективно применение таких составов для теплоизоляционных панелей, блоков и покрытий.

Перспективы дальнейших исследований

- ❖ Изучение долговечности бетона с вермикулитом, в том числе его морозостойкости и водостойкости.
- ❖ Микроструктурный анализ (РЭМ, МРТ) для детального изучения распределения пор и фазовых взаимодействий.
- ❖ Испытания на теплопроводность, что позволит оценить влияние вермикулита на теплоизоляционные свойства бетона.
- ❖ Разработка композитов с комбинированными заполнителями для оптимального сочетания прочности и энергосбережения.

Использованная литература / References

- [1] Трушевский С.Н. Легкие бетоны и их применение в строительстве. - Москва: Стройиздат, 2010.
- [2] ГОСТ 310.4-81. Бетоны. Методы определения прочности при изгибе.
- [3] ГОСТ 25820-2014. Бетоны ячеистые и легкие. Технические условия.
- [4] Плотников В.А. Теплоизоляционные свойства легких бетонов. - Санкт-Петербург: Наука, 2017.
- [5] Смирнов А.П. Влияние пористых заполнителей на свойства цементного камня. - Екатеринбург: УрО РАН, 2018.
- [6] Powers T.C. The Properties of Fresh Concrete. - New York: John Wiley & Sons, 1968.
- [7] Neville A.M. Properties of Concrete. - London: Pearson Education, 2011.

Информация об авторах/ Information about the authors

Тахиржанов Нурсултан Кайратович Базовый докторант кафедры "Строительство зданий и промышленных сооружений" Ташкентского государственного транспортного университета, e-mail:
taxirjanovnursultan@gmail.com
Tel.: +998973554498
<https://orcid.org/0009-0004-4251-7101>

Исмайлова Айсулы Султамуратовна Ассистент кафедры градостроительства и хозяйства Каракалпакского государственного университета e-mail:
ismaylovaaysuliw676@gmail.com
Tel.: +998942946564
<https://orcid.org/0009-0000-4596-0759>

1 section. Resource- and energy-saving construction materials and technologies

**A. Adylkhodjayev, I. Kadyrov, O. Tukhtasinov,
H. Sadykova**

Study of Porous Structure of Concrete on the Basic of Polyfunctional Additive and Low-Active Mineral Filler 7

Kh. Akramov, Sh. Rakhimov

Properties of fine-grained concrete from raw materials of our Republic 10

I. Makhamataliev, R. Muminov, Sh. Uzakov

Optimization of the composition of fine-grained concrete reinforced with polypropylene fiber 14

V. Soy, G. Nuriddinova

Critical analysis of modern technologies and formulations of non-autoclaved aerated concrete for production conditions in the Republic of Uzbekistan 18

N. Takhirzhanov, A. Ismaylova

Vermiculite-based energy-saving concretes: experimental study of strength 22

R. Auezbaev, P. Lepesbaeva

Structure of ceramic fragments with vermiculite additives in various forming methods 27

M. Musazhonov, A. Ibadullaev, U. Chorshanbiev

Study of polymer compositions for pipe washing on the hydraulic transport of dispersed systems 33

N.V. Drobchenko

The use of energy-efficient and environmentally friendly materials in modern construction 37

G. Moskvitin, V. Arkhipov, M. Pugachev

Production of non-corrosive coatings based on copper and zinc by gas-dynamic method 42

M. Mekhmonov

Theoretical and experimental studies of embankment reinforcement in the area where the railway roadbed meets the bridge 48

V. Soy, U. Shermukhamedov, N. Mukhammadiev,

Vang Meng, Zhao Yue

Fine-grained basalt-fiber concrete for reinforced concrete structures of formwork-free production 52