



**АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

К. Мухамбеткалиев<sup>1</sup> , Д. Алижанов<sup>1</sup> , Б. Чугулев<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>Архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет  
им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

\*Корреспондент автор: [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения техногенных отходов, в частности золы-уноса и металлургических шлаков, в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей. Анализ нормативных документов и экспериментальные исследования показали, что данные материалы могут эффективно использоваться в дорожном строительстве, улучшая теплоустойчивость и адгезию битума, а также снижая углеродный след. Особое внимание уделено влиянию содержания полуторных окислов на физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей. Рассмотрены перспективные технологии активации минеральных порошков, в том числе «сухой» метод, позволяющий снизить энергозатраты при их производстве. Представлены результаты лабораторных испытаний, подтверждающие эффективность модифицированных техногенных отходов в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** техногенные отходы, декарбентные материалы, зола-уноса, металлургические шлаки, минеральный порошок, асфальтобетон.

### Введение

Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей получают путем помола горных пород или твердых отходов промышленности. Минеральный порошок может быть активирован смесями поверхностно активных веществ (ПАВ) или продуктов, содержащих ПАВ, битумом и т.д.

При использовании техногенных отходов в качестве минерального порошка для обозначения по СТ РК 1276-2004 используется марка МПЗ [1]. Однако в технических условиях устанавливаются требования по содержанию полуторных окислов –  $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ . Данное условие существенно ограничивает применение техногенных отходов в качестве минерального порошка, несмотря на обширные данные по результатам научных исследований по применению техногенных отходов в качестве минерального порошка для асфальтобетонных смесей.

Ретроспективный анализ нормативных документов показывает, что технические условия к минеральному порошку для асфальтобетонных смесей устанавливались ГОСТ 16557-78 [2]. В данном нормативе не было условий для минеральных порошков из техногенных отходов. В технических условиях ограничивалось содержание глинистых частиц, не более 5% по массе, которое определялось по наличию полуторных окислов. При переработке норматива в ГОСТ 16557-2005 в технические условия включены требования к марке МПЗ из техногенных отходов, однако для всех марок минеральных порошков

оставлены требования по содержанию полуторных окислов [3]. При разработке национального стандарта данное условие, также перешло в СТ РК 1276-2004.

Целью настоящих исследований является установление влияния полуторных окислов минеральных порошков из золы-уноса на качество асфальтобетонных смесей.

Современные исследования демонстрируют высокую эффективность использования техногенных отходов, таких как зола уноса, металлургические шлаки и лом кирпичной футеровки, для производства минеральных порошков и асфальтобетонных смесей. В исследованиях установлено, что техногенные отходы улучшают теплоустойчивость и адгезию битума, а асфальтобетонные смеси на их основе по физико-механическим характеристикам не уступают традиционному сырью [4-6].

Задачами нашего исследования являются изучение процессов старения битумного, вяжущего в асфальтобетонных смесях, разработка композиционных составов на основе полиструктурной теории композиционных строительных материалов, основные положения которой освещались в трудах В. И. Соломатова, В. В. Патуроева, Ю. М. Баженова, В. Т. Ерофеева, Ю. Г. Иващенко и других ученых [7-11].

### **Методология**

Исследования проводились по стандартным методикам для исходных материалов асфальтобетонных смесей и физико-механических показателей образцов асфальтобетона.

Минеральный порошок из золошлаковых отходов испытывались по методикам СТ РК 1221–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Методы испытаний» с определением зернового состава, пористости, набухания образцов, определения битумоемкости, влажности и т.д.

Для приготовления контрольных образцов использовался минеральный порошок из карбонатных пород ТОО «TUTAS». Согласно результатам испытаний, активированный минеральный порошок по всем показателям соответствует требованиям СТ РК 1276 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органических минеральных смесей. Технические условия». Минеральный порошок из золошлаковых отходов по показателям зернового состава и пористости не соответствовал требованиям норматива. В дальнейшем золошлаковые отходы измельчались в шаровой мельнице с добавлением органоминерального модификатора в качестве активатора минерального порошка. Измельчение проводилось по «сухому» методу, менее энергозатратный способ производства минерального порошка.

В дальнейшем по методике СТ РК 1225 подбирались асфальтобетонные смеси для мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II и определялись физико-механические характеристики асфальтобетонов по СТ РК 1218.

Для приготовления асфальтобетонных смесей использовались следующие исходные материалы:

- щебень из плотных горных пород фр. 10-20 и 5-10 мм, карьер «Волгодоновка»;
- песок из отсевов дробления щебня фр.0-5 мм карьера «Волгодоновка»;
- битум марки БНД 70/100, ТОО «СП «Caspі Bitum»;
- порошок минеральный активированный, ТОО «TUTAS»;
- адгезионная добавка «Амдор»;
- модифицированный минеральный порошок из золошлаковых отходов.

Проанализировав зерновые составы каменных материалов, построили график кривой минеральной части смеси.

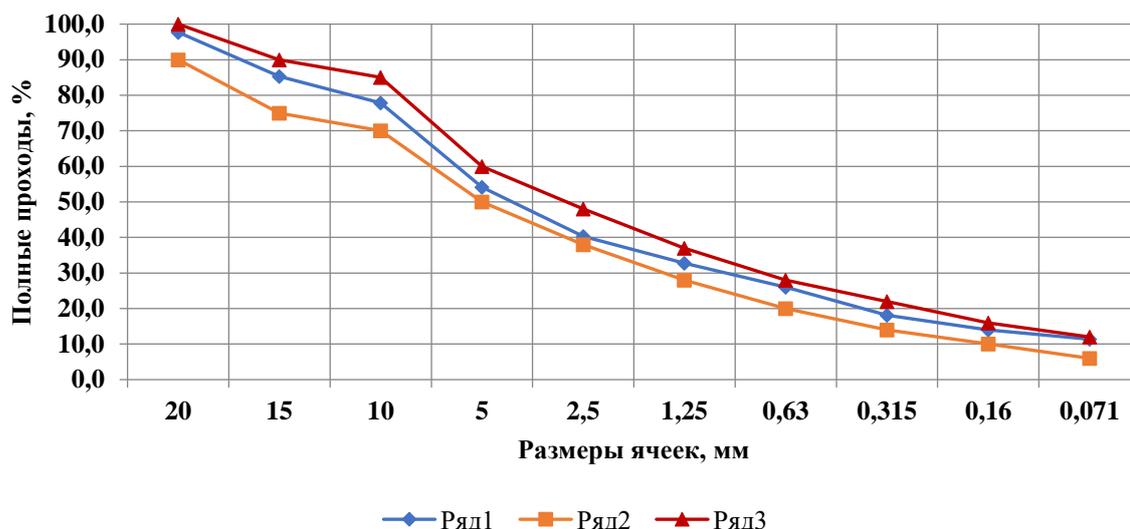


Рисунок 1 - График кривой минеральной части смеси

Для испытания принят следующий рецепт минеральной части:

- щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 20%
- щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 30%
- отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 45%
- активированный минеральный порошок ТОО «TUTAS» – 5%.

Приготовление асфальтобетонных смесей производилось путем взвешивания расчетного количества исходных материалов, нагрева каменных материалов в сушильном шкафу до требуемой температуры, перемешивания в лабораторной лопастной мешалке, и введения компонентов. Перемешивание осуществлялось до достижения визуальной однородности. Температура готовой асфальтобетонной смеси составляла 150-155°C.

Введение адгезионной добавки в битум производилось по следующей технологии: в битум, нагретый до 150 °С, вводился расчетное количество адгезионной добавки (0,3% от массы битума) и перемешивался в течение 10–15 мин.

**Смесь №1 (контрольный)** с использованием 100% минерального порошка;

**Смесь №2** с использованием модифицированного минерального порошка из «сухой золы»;

**Смесь №3** с использованием модифицированного минерального порошка из «гидро золы».

Определены оптимальные содержания битума асфальтобетонных смесей и составил для смесей: №1 – 5,2%; №2 – 5,2%; №3 – 5,2%.

**Физико-механические свойства асфальтобетонов с применением «сухой золы» и без нее приведены в таблице 1.**

| Наименование показателя   | Требования СТ РК 1225 | Смесь №1 | Смесь №2 | Смесь №3 |
|---|-----------------------|----------|----------|----------|
| Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>                            | Не норм.              | 2,44     | 2,41     | 2,40     |
| Водонасыщение, %  | 1,5-4,0               | 1,5      | 2,25     | 2,85     |
| Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее | 0,83                  | 0,95     | 0,92     | 0,94     |

|  |            |      |      |      |
|--|------------|------|------|------|
| Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге, МПа, не менее                                    | 0,36       | 0,37 | 0,62 | 0,44 |
| Предел прочности при температуре 50 °С, МПа, не менее  | 1,2        | 1,55 | 2,13 | 1,51 |
| Предел прочности при температуре 20 °С, МПа, не менее  | 2,2        | 3,9  | 6,06 | 4,38 |
| Водостойкость, %, не менее   | 0,80       | 0,87 | 0,81 | 0,95 |
| Предел прочности при температуре 0 °С, МПа, не более   | 13         | 7,78 | 10,7 | 8,2  |
| Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе, МПа<br>Не менее<br>Не более | 3,5<br>7,0 | 4,23 | 4,8  | 4,36 |
| Средняя глубина колеи, мм, не более  | 6,0        | 5,7  | 5,5  | 5,6  |

### Результаты и Обсуждение

По результатам испытаний, асфальтобетон типа Б марки П с применением сухой золы и гидрозолы по всем показателям соответствует требованиям СТ РК 1225–2019.

При этом смесь №2 и смесь №3 по показателям предела прочности при сжатии при температуре 20°С и 50 °С показали наиболее высокие результаты.

Позже были приготовлены образцы для определения показателя водостойкости при длительном водонасыщении, так как данный показатель является одним из ключевых параметров, определяющих долговечность и эксплуатационные свойства дорожного покрытия. Вода может разрушать связь между битумом и минеральными компонентами, вызывая преждевременное старение и деформации покрытия. Именно поэтому испытание водостойкости асфальта при длительном водонасыщении становится важным этапом контроля качества.

| Наименование показателя                                 | Требования СТ РК 1225 | Смесь №1 | Смесь №2 | Смесь №3 |
|---|-----------------------|----------|----------|----------|
| Водостойкость, при длительном водонасыщении %, не менее | 0,70                  | 0,80     | 0,87     | 0,95     |

Целью данного испытания было оценить, как использование сухой золы и гидро-золы вместо традиционного минерального порошка влияет на водостойкость асфальтобетона при длительном водонасыщении, то есть его способность сохранять прочностные характеристики после длительного воздействия воды.

По результатам испытаний можно сделать вывод, что показатели водостойкости при длительном водонасыщении смеси №2 и №3 выше показателя смеси №1 на ~ 8% и 18% соответственно.

### Заключение

Золошлаковые материалы ТЭС в составе асфальтобетона отличаются от традиционных материалов меньшими значениями эквивалента CO<sub>2</sub> и повышенными показателями водостойкости покрытия. Как показывают результаты исследований, полуминеральные окислы золошлаковых отходов стабилизируют битумное вяжущее, за счет образования органоминеральных комплексов, которые вероятно замедляют процессы старения битума и улучшают долговечность дорожных покрытий.

Указанные факты, открывают возможность в получении нового перспективного материала для дорожной отрасли. Инновационным направлением является использование органоминеральных порошков из осадков сточных вод, которые повышают прочность, коррозионную устойчивость и экологичность асфальтобетонных смесей. Эти подходы позволяют эффективно перерабатывать промышленные отходы, минимизировать их накопление и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

### Список литературы

1. СТ РК 1276-2004. Минеральный порошок для асфальтовых и органоминеральных смесей. Технические условия. Астана, 2004. 22 с.
2. ГОСТ 16557-78. Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. Взамен ГОСТ 16557-71; введен 24.10.78. Москва: Издательство стандартов, 1992.
3. ГОСТ 16557-2005. «Минеральный порошок для асфальтобетонных и органоминеральных смесей». Технические условия. Москва: Издательство стандартов.
4. Lyapin, A.A., Parinov, I.A., Buravchuk, N.I., Cherpakov, A.V., Shilyaeva, O.G.V., Guryanova, O.G.V., Lyapin, A.A., Parinov, I.A., Buravchuk, N.I., Cherpakov, A.V. and Shilyaeva, O.G.V., 2021. Main Areas of Utilizing the Burnt Rocks of Mine Dumps and Ash-slag Waste. Improving Road Pavement Characteristics: Applications of Industrial Waste and Finite Element Modelling, pp.9-18.
5. Kurniati, E.O., Pederson, F. and Kim, H.J., 2023. Application of steel slags, ferronickel slags, and copper mining waste as construction materials: A review. Resources, Conservation and Recycling, 198, p.107175.
6. Novytskyi, Y., Yatsenko, V. and Topylko, N., 2022. Prerequisites for the implementation of the European experience in the use of ash-slag materials in the construction of highways: A review. Theory and Building Practice, 4(2), pp.90-97.
7. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура . 1985. № 8. С. 58 - 64.
8. ПАТУРОЕВ, В.В., ВОЛГУШЕВ, А.Н., ШЕСТЕРКИНА, Н.Ф. and ЕРЕМИНА, В.А., 1987. Композиция для изготовления строительных изделий и конструкций.
9. Баженов, Ю.М., Батаев, Д.К.С. and Муртазаев, С.А., 2006. Энерго-и ресурсосберегающие материалы и технологии для ремонта и восстановления зданий и сооружений.
10. Ерофеев, В.Т., Ликомаскина, М.А., Афонин, В.В. and Архипова, А.И., 2022. Стойкость асфальтобетонов в условиях воздействия биосреды. Вестник МГСУ, 17(10), pp.1358-1371.
11. Иващенко, Ю.Г., Евстигнеев, С.А., Страхов, А.В. and Тимохин, Д.К., 2013. Механоактивированные модифицирующие добавки для строительных композитов. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова, (3), pp.47-52.

**Сведения об авторах (на трех языках):**

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – т.ғ.к., «ҚаздорҒЗИ» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің жетекші ғылыми қызметкері, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан, [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Казахстан, [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

Kairat Mukhambetkaliyev – Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher of the Science Development Department, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», Astana, Kazakhstan, [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – «ҚаздорҒЗИ» ФАО Жол-құрылыс материалдары және жаңа технологиялар бөлімінің кіші ғылыми қызметкері, Алматы қ., Қазақстан, [dimash\\_a92@mail.ru](mailto:dimash_a92@mail.ru)

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – младший научный сотрудник отдела дорожно-строительных материалов и новых технологий, ФАО «КаздорНИИ» г. Алматы, Казахстан [dimash\\_a92@mail.ru](mailto:dimash_a92@mail.ru)

Dinmukhambet Alizhanov – Junior Researcher of the Department of Road Construction Materials and New Technologies, KazdorNII JSC, Almaty, Kazakhstan, [dimash\\_a92@mail.ru](mailto:dimash_a92@mail.ru)

Чугулев Бексултан Дулатович – сынақ зертханасының жетекші инженері, сынақ зертханасы, «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, [beksultan\\_d@mail.ru](mailto:beksultan_d@mail.ru)

Чугулев Бексултан Дулатович – ведущий инженер испытательной лаборатории, испытательная лаборатория, АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», [beksultan\\_d@mail.ru](mailto:beksultan_d@mail.ru)

Beksultan Chugulyov – Leading Engineer of the testing laboratory, testing laboratory, JSC «Kazakhstan Road Research Institute», [beksultan\\_d@mail.ru](mailto:beksultan_d@mail.ru)

**Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):**

Мухамбеткалиев Кайрат Куаншкалиевич – сбор данных, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста.

Алижанов Дінмұхамбет Алижанұлы – концепция, методология, анализ, получение финансирования.

Чугулев Бексултан Дулатович – тестирование, редактирование.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Использование искусственного интеллекта (ИИ):** при подготовке статьи ИИ не использовался.

**ӨНЕРКӘСІП ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН МИНЕРАЛДЫ ҰНТАҚТАРДЫ  
АКТИВАЦИЯЛАУ АРҚЫЛЫ АСФАЛЬТБЕТОННЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-  
МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ**

К. Мухамбеткалиев<sup>1</sup> , Д. Алижанов<sup>1</sup> , Б. Чугулев<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup> Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәулет-құрылыс факультеті, Астана, Қазақстан

\*Корреспондент автор: [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

**Аңдатпа.** Мақалада өнеркәсіптік қалдықтарды, атап айтқанда ұшпа күл мен металлургиялық шлактарды асфальтбетон қоспалары үшін минералды ұнтақ ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Нормативтік құжаттарды талдау және эксперименттік зерттеулер бұл материалдардың жол құрылысында тиімді қолданылатынын, асфальтбетонның жылуға төзімділігін және битумның адгезиясын арттыратынын, сондай-ақ көміртек ізін азайтатынын көрсетті. Асфальтбетон қоспаларының физикалық-механикалық қасиеттеріне жартылай оксидтердің әсеріне ерекше назар аударылған. Минералды ұнтақтарды активтендірудің перспективалық технологиялары, соның ішінде энергия шығынын азайтуға мүмкіндік беретін «құрғақ» әдіс қарастырылған. Жол құрылысында модификацияланған өнеркәсіптік қалдықтарды қолданудың тиімділігін растайтын зертханалық сынақ нәтижелері ұсынылған.

**Түйінді сөздер:** өнеркәсіптік қалдықтар, декарбонизацияланған материалдар, ұшпа күл, металлургиялық шлактар, минералды ұнтақ, асфальтбетон.

## ACTIVATION OF MINERAL POWDERS FROM INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE

K. Mukhambetkaliyev<sup>1</sup> , D. Alizhanov<sup>1</sup> , B. Chugulyov<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup>Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup> Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

\*Corresponding author: [k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz](mailto:k.mukhambetkaliyev@qazjolgzi.kz)

**Abstract.** This paper examines the potential use of industrial waste, particularly fly ash and metallurgical slags, as mineral powder in asphalt concrete mixtures. Analysis of regulatory documents and experimental studies has shown that these materials can be effectively applied in road construction, improving thermal stability and bitumen adhesion, as well as reducing the carbon footprint. Special attention is given to the influence of sesquioxide content on the physical and mechanical properties of asphalt concrete mixtures. Promising technologies for activating mineral powders are considered, including the “dry” method, which allows reducing energy consumption during their production. The results of laboratory tests confirming the effectiveness of modified industrial waste in road construction are presented.

**Keywords:** industrial waste, decarbonized materials, fly ash, metallurgical slags, mineral powder, asphalt concrete.



**Copyright:** © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) licence (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).