Qazaq Highway
Science and Innovation
https://science-jolshy.qazjolgzi.kz/ru/index
ISSN
3008-1491

ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ СУХОЙ ЗОЛЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Пиршаев Д.К. [1,*], Смагулова М.К.[1]

[1]АО "КаздорНИИ", Астана, Республика Казахстан
*Корреспондент автор: Tptk2025@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния активированной сухой золы, используемой в качестве частичной замены минерального порошка, на физико-механические свойства плотных асфальтобетонных смесей. Исследования проводились в соответствии с требованиями СТ РК 1225-2019 и СТ РК 1218. Были подобраны составы мелкозернистых асфальтобетонов типов А и Б, крупнозернистого асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона с применением активированной золы. Выполнена оценка прочностных характеристик, водостойкости, трещиностойкости, сдвигоустойчивости и устойчивости к колееобразованию. Полученные результаты показали, что применение активированной сухой золы позволяет обеспечить нормативные физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей и повысить их сопротивление воздействию высоких температур. Наиболее эффективным оказался состав с содержанием 60 % сухой золы от массы минерального порошка.

Ключевые слова: асфальтобетон, активированная зола, сухая зола, минеральный порошок, дорожное строительство, физико-механические свойства, дорожные покрытия, колееобразование, водостойкость.

Введение

Современное дорожное строительство ориентировано на повышение долговечности дорожных покрытий при одновременном снижении себестоимости производства асфальтобетонных смесей и расширении применения вторичных минеральных ресурсов [1]. Одним из перспективных направлений является использование золы-уноса тепловых электростанций после соответствующей активации в качестве минерального наполнителя [2].

Активированная сухая зола обладает развитой удельной поверхностью, высокой дисперсностью и способностью взаимодействовать с битумным вяжущим, что способствует улучшению структуры асфальтобетона. Кроме того, использование золы позволяет снизить объем промышленных отходов, направляемых в отвалы, и уменьшить экологическую нагрузку [3].

Целью настоящей работы является исследование влияния активированной сухой золы на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей различных типов и определение оптимального содержания золы в составе минерального порошка [4].

Методология

1.1 Методика проведения исследований

В ходе исследований планировалось решить следующие задачи:

- подобрать смеси, отвечающие требованиям СТ РК 1225 [5];

- определить физико- механические показатели мелкозернистых асфальтобетонов типов А и Б марки I;

- оценить влияние активированной золы в составе асфальтобетона.

Физико-механические характеристики асфальтобетона с использованием активированной золы определялись согласно СТ РК 1218 [6].

Для приготовления асфальтобетонных смесей приняты следующие исходные материалы:

- щебень из плотных горных пород фр. 10-20 и 5-10 мм, карьер «»;
- песок из отсевов дробления щебня фр. 0-5 мм карьера «Волгодоновка»;
- битум марки БНД 70/100, ТОО «СП«CaspiBitum»;
- адгезионная добавка «Амдор»;
- активированная зола.

Таблица 1 – Физико-механические свойства исходного битума марки БНД 70/100, ТОО «СП «Caspi Bitum»

Наименование показателей	НД на методы испытаний	Норма по НД	Фактические результаты
1	2	3	4
Глубина проникания иглы, мм при температуре 25 °С	СТ РК 1226	71-100	77,0
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	СТ РК 1227	не ниже 47	47,8
Растяжимость, при температуре 25 °С, см	СТ РК 1374	не менее 75	80
Температура хрупкости по Фраасу, °С	СТ РК 1229	не выше -20°С	-20

Таблица 2 – Физико-механические свойства каменных материалов

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты	
		фр. 10-20 мм	фр. 5-10 мм
Дробимость: - потеря массы, % - марка	Св. 10 до 12 включ. 1200	9,7 1200	10,2 1200
Истираемость: - потеря массы, % - марка	Св. 15 до 25 вкл. И2	18 И2	20 И2
Содержание игловидных и лещадных зерен, %	св.10 до 15 вкл. Л15	13,5 Л15	12,8 Л15

Таблица 3 – Характеристики песка из отсева дробления щебня

Наименование показателей	Норма по НД	Фактические результаты
Содержание зерен %, мельче, мм: - 5,0 - 2,5 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,16 - 0,071	не нормируется	 95,2 70,8 42,8 26,6 15,6 8,8 3,4

Содержание глинистых частиц, определяемое методом набухания, %	не более 0,5	0,44

Таблица 4 – Характеристики «Активированной золы»

№	Наименование показателей	Норма по НД (МП-3)	Фактические результаты
1.	Зерновой состав, % по массе, не менее мельче 1,25 мм 0,315 0,071	 95 80 60	 100 99,98 90,48
2.	Гидрофобность	Гидрофобный/ Не гидрофобный	Гидрофобный
3.	Пористость, %	38-45	39
4.	Влажность, % по массе, не более	2,5	0,7
5.	Показатель битумоемкости, г, не более, г.	80	75

Из анализа результатов следует, что исходные материалы соответствуют требованиям: щебень - СТ РК 1284, песок из отсева дробления щебня - ГОСТ 31424 [7], порошок минеральный активированный - СТ РК 1276 [8], битум БНД 70/100 - СТ РК 1373 [9].

Просеяны и проанализированы зерновые составы каменных материалов и построены графики кривых проходов для следующих асфальтобетонов:

1) Асфальтобетон мелкозернистый типа А, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 1);

2) Асфальтобетон мелкозернистый типа Б, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 2);

3) Асфальтобетон крупнозернистый, плотный, типа Б, марки I, в соответствии с СТ РК 1225, (рисунок 3);

4) Щебеночно- мастичный асфальтобетон – 20, в соответствии с ГОСТ 31015, (рисунок 4).

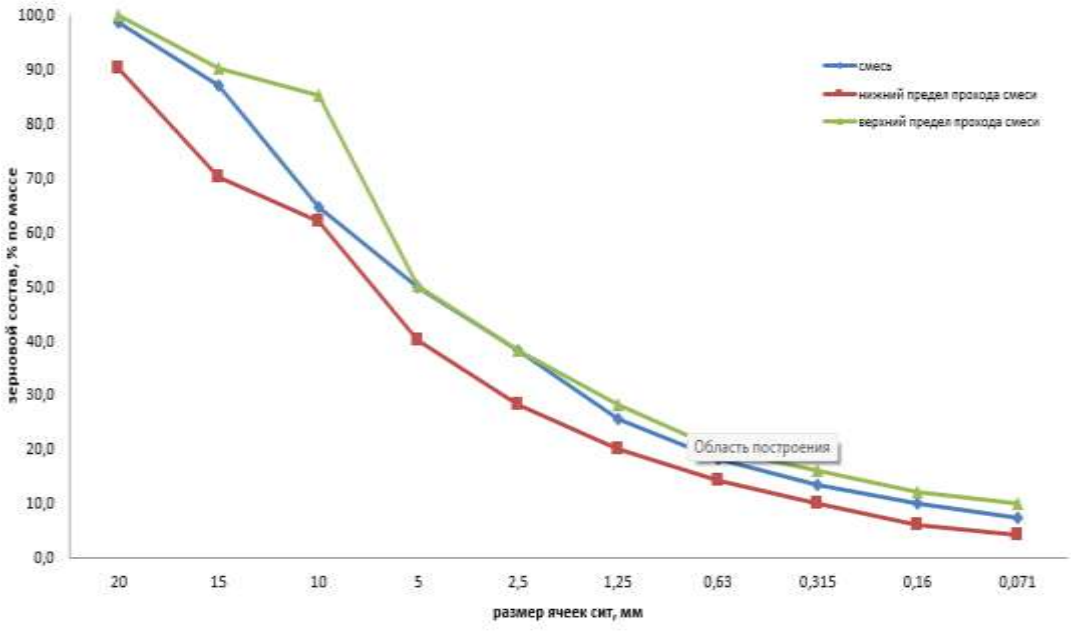


Рисунок 1 – График кривой гранулометрического состава подобранной мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа А марки I

Для испытания **мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа А марки I**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 26%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 25%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 43%
– активированная зола – 6%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

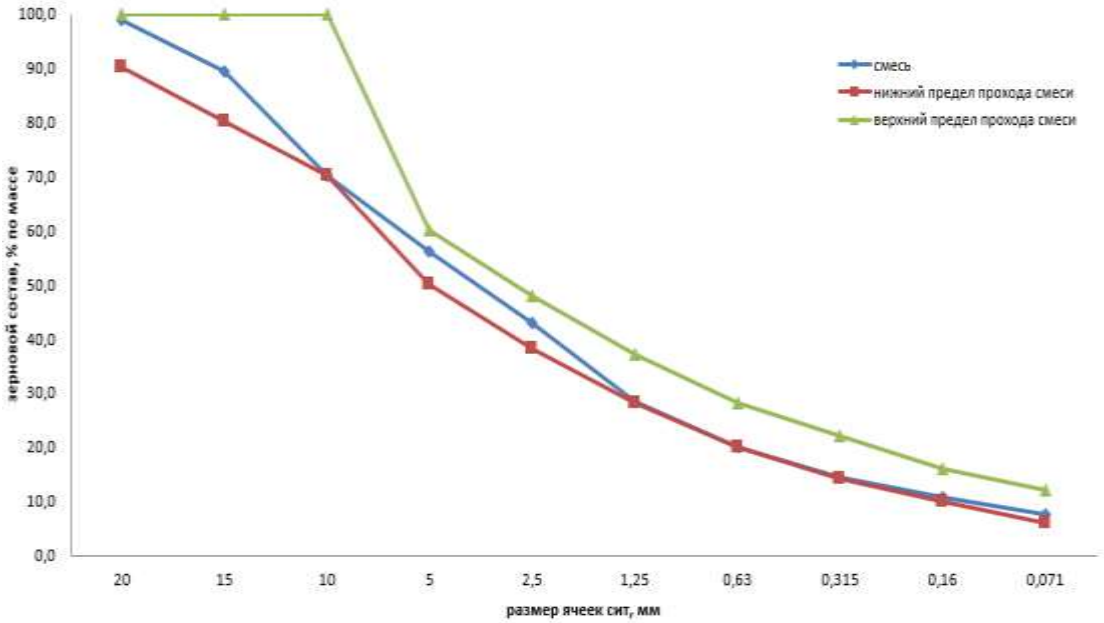


Рисунок 2 – График кривой гранулометрического состава подобранной **мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I**

В свою очередь для испытания мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I, приняли следующий состав 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%
– активированная зола – 6%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

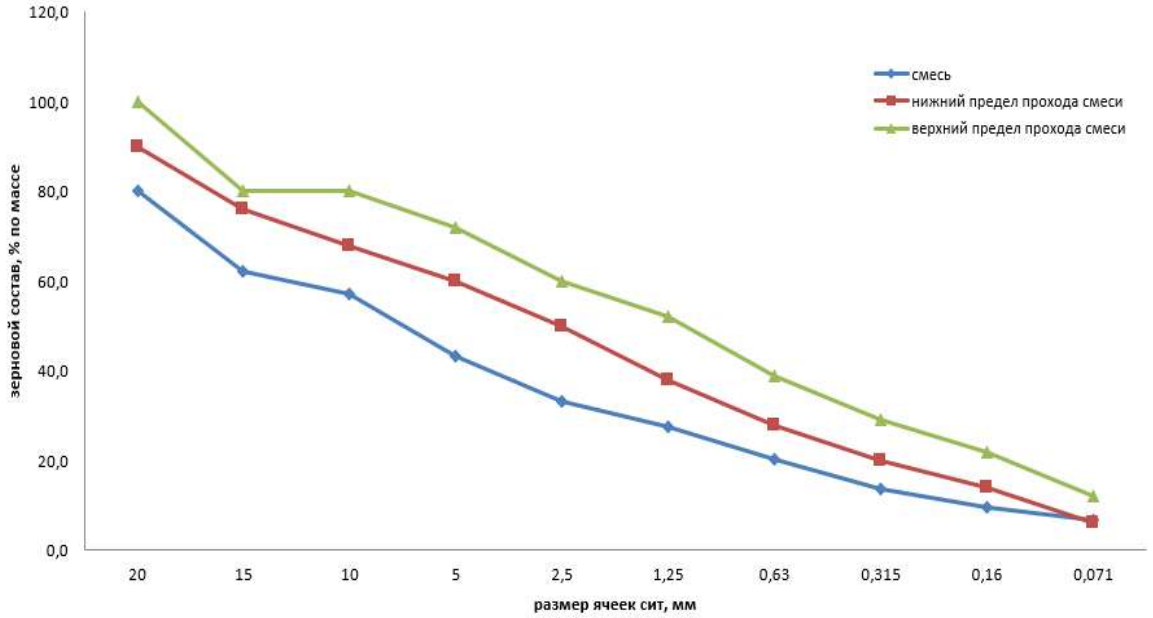


Рисунок 3 – График кривой гранулометрического состава подобранной крупнозернистой асфальтобетонной смеси типа Б

Для испытания **крупнозернистой асфальтобетонной смеси типа Б марки I**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 20-40 мм «Волгодоновка» – 33%
– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 10%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 15%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 37%
– активированная зола – 5%
– адгезионная добавка «А
мдор» – 0,3%
– битум 70/100 – 5,0%.

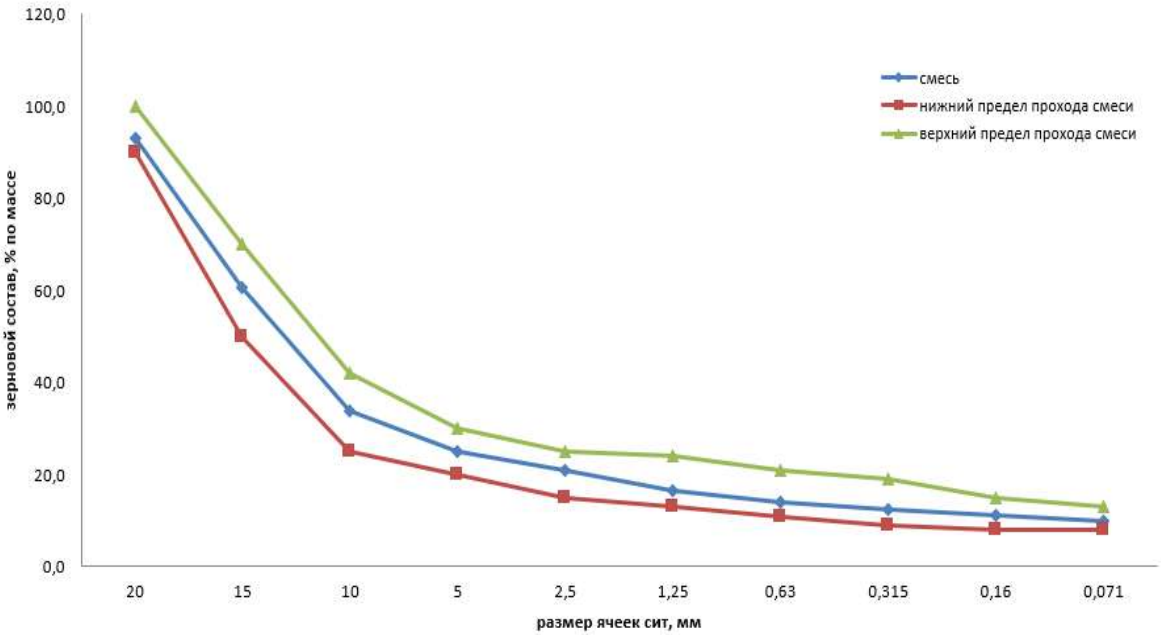


Рисунок 4 – График кривой гранулометрического состава, подобранной щебеночно мастичного асфальтобетона 20.

Для испытания **щебеночно- мастичного асфальтобетона – 20**, был принят следующий состав минеральной части:

– щебень фр. 10-20 мм «Волгодоновка» – 62%
– щебень фр. 5-10 мм «Волгодоновка» – 13%
– отсев дробления щебня фр. 0-5 мм карьер «Волгодоновка» – 14%
– активированная зола – 11%
– адгезионная добавка «Амдор» – 0,3%
– стабилизирующая добавка – 0,4%
– битум 70/100 – 5,0%.

2.2 Приготовление асфальтобетонных смесей.

Введение адгезионной добавки в битум производилось по следующей технологии: битум нагревали до 150 °С, затем вводили расчетное количество адгезионной добавки (0,3% от массы битума), перемешивали в течение 10-15 мин.

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

Результаты и обсуждение

Показатели сопоставительных анализов физико-механических свойств асфальтобетонных смесей типа «Б» 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^3	Не норм.	2,44	2,41	2,40
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,5	1,7	1,9
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,83	0,95	0,95	0,97
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге, МПа, не менее	0,36	0,37	0,36	0,36
Предел прочности при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,2	1,55	1,65	2,01
Предел прочности при температуре 20 °С, МПа, не менее	2,2	3,9	3,5	5,15
Водостойкость, %, не менее	0,80	0,87	0,86	0,83
Предел прочности при температуре 0 °С, МПа, не более	13	7,78	8,58	9,2
Трещиностойкость по пределу прочности на				

растяжение при расколе, МПа Не менее Не более	3,5 7,0	4,23	5,03	5,0
Устойчивость к колееобразованию, мм, не более	6,0	5,7	6,0	6,0

На основании таблицы 6 можно сделать следующие выводы:

Средняя плотность: Плотность всех смесей находится в диапазоне 2,40–2,44 г/см^3.

Водонасыщение: Все смеси соответствуют требованиям стандарта (1,5–4,0%). Смесь №1 имеет минимальное водонасыщение (1,5%), что говорит о хорошей водостойкости, в то время как смеси №2 и №3 немного выше, но также находятся в допустимых пределах.

Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения: Все смеси превышают минимально допустимое значение 0,83. Смесь №3 имеет наивысший показатель (0,97), что означает лучшую устойчивость к сдвиговым деформациям.

Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге: Все смеси соответствуют минимальному требованию 0,36 МПа. Смесь №1 имеет показатель (0,37), что свидетельствует о лучшей сцепной способности.

Предел прочности при температуре 50 °С: Все смеси показывают высокие значения прочности при температуре 50 °С. Смесь №3 имеет наибольший предел прочности (2,01 МПа), что говорит о лучшей устойчивости к высоким температурам.

Предел прочности при температуре 20 °С: Значения значительно превышают требуемый минимум 2,2 МПа. Можно выделить смесь №3 (5,15 МПа), что свидетельствует о наилучшей прочности при этой температуре.

Водостойкость: Все смеси соответствуют требованиям (не менее 0,80). Смесь №1 имеет наивысший показатель (0,87), что указывает на лучшую водостойкость среди представленных образцов.

Предел прочности при температуре 0 °С: Все смеси имеют значительно меньшие значения, чем максимально допустимое значение (13 МПа). Это значит то, что смеси имеют хорошую устойчивость при низких температурах.

Трещиностойкость: Показатели трещиностойкости всех смесей находятся в допустимом диапазоне. Это говорит о лучшей стойкости к образованию трещин.

Средняя глубина колеи: Смеси №2 и №3 обладают меньшей устойчивостью к образованию колеи.

Физико-механические свойства мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II, в котором использовалось 40% минерального порошка и 60% «сухой золы» с содержанием битума 5,3%, по сравнению с использованием в качестве минерального заполнителя 50/50 минерального порошка и «сухой золы» соответственно, по показателям предела прочности при температуре 20 ℃ и 50 ℃ показали наиболее высокие результаты.

Выводы

Работа выполнена с целью подбора оптимального состава мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» марки II, с применением «Сухой золы».

Асфальтобетон с «Сухой золой» имеет немного меньшую плотность по сравнению с контрольной смесью, так как «Сухая зола» имеет более низкую плотность по сравнению с минеральными наполнителями.

Смеси с «Сухой золой» показывают небольшое увеличение водонасыщения по сравнению с контрольной смесью. Это связано с тем, что зола может имеет пористую структуру и не является гидрофобной, в связи с этим смесь поглощает немного больше влаги.

Асфальтобетоны с содержанием сухой золы в количестве 40 и 60 % массы минерального порошка, по физико-механическим показателям соответствуют требованиям СТ РК 1225-2019 на марку II.

Рациональное содержание «Сухой золы» необходимо подбирать в зависимости от применяемого минерального материала и битума, а также характеристик конкретного вида асфальтобетона.

Список литературы

1. Mirković K., Tošić N., Mladenović G. Effect of different types of fly ash on properties of asphalt mixtures // Advances in Civil Engineering. – 2019. – Vol. 2019. – Article ID 8107264. – 11 p. – DOI: https://doi.org/10.1155/2019/8107264.

2. Choudhary J., Kumar B., Gupta A. Utilization of solid waste materials as alternative fillers in asphalt mixes: A review // Construction and Building Materials. – 2020. – Vol. 234. – Article 117271. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117271.

3. Jwaida Z., Al Quraishy Q.A., Almuhanna R.R.A., Dulaimi A., Bernardo L.F.A., Andrade J.M.A. The use of waste fillers in asphalt mixtures: A comprehensive review // CivilEng. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 801–826. – DOI: https://doi.org/10.3390/civileng5040042.

4. Hui Y., Zhang R., Men G., Yuan H., Gu S., Ma L., Wang D. Fly ash for sustainable roads: A comprehensive review on mechanisms and performance optimization // Journal of Road Engineering. – 2025. – Vol. 5, No. 4. – P. 618–638. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jreng.2025.07.001.

5. СТ РК 1225–2019. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2019. / ST RK 1225–2019. Asphalt and airfield mixtures. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan, 2019.

6. СТ РК 1218–2003. Материалы дорожные. Методы испытаний асфальтобетона. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1218–2003. Road materials. Test methods for asphalt concrete. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

7. ГОСТ 31424–2010. Материалы строительные нерудные из отсевов дробления плотных горных пород. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2011. / GOST 31424–2010. Non-metallic construction materials from crushed screenings of dense rocks. Technical specifications. – Moscow: Standartinform, 2011.

8. СТ РК 1276–2017. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1276–2017. Mineral powder for asphalt concrete mixtures. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

9. СТ РК 1373–2013. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан. / ST RK 1373–2013. Petroleum road viscous bitumen. Technical specifications. – Astana: State Standard of the Republic of Kazakhstan.

Сведения об авторах:

Пиршаев Д.К. – ведущий инженер испытательной лаборатории АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, Tptk2025@gmail.com

Смагулова М.К. – младший научный сотрудник Департамента развития науки АО «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», Астана, Республика Казахстан, mariya_98.kz@mail.ru

Пиршаев Д.К. – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ сынақ зертханасының жетекші инженері, Астана, Қазақстан Республикасы, Tptk2025@gmail.com

Смагулова М.К. – «Қазақстан жол ғылыми-зерттеу институты» АҚ Ғылымды дамыту департаментінің кіші ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан Республикасы, mariya_98.kz@mail.ru

Pirshaev D.K. – Lead Engineer, Testing Laboratory, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, Tptk2025@gmail.com

Smagulova M.K. – Junior Researcher, Department of Science Development, Kazakhstan Road Research Institute JSC, Astana, Republic of Kazakhstan, mariya_98.kz@mail.ru

Вклад авторов:

Пиршаев Д.К. – концепция исследования, методология, сбор данных (техническая миссия в КНР), анализ и интерпретация результатов, написание и редактирование текста.

Смагулова М.К. – сбор и анализ нормативно-технической документации, изучение международного опыта, сравнительный анализ стандартов, систематизация данных, участие в редактировании рукописи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

АКТИВТЕЛГЕН ҚҰРҒАҚ КҮЛДІҢ АСФАЛЬТОБЕТОН ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Пиршаев Д.К. [1,*], **Смағұлова М.К.** [1]

[1] «ҚазжолҒЗИ» АҚ, Астана, Қазақстан Республикасы
*Корреспондент автор: Tptk2025@gmail.com

Аннотация. Мақалада минералды ұнтақтың ішінара алмастырғышы ретінде қолданылатын активтелген құрғақ күлдің тығыз асфальтобетон қоспаларының физика-механикалық қасиеттеріне әсерін бағалау бойынша эксперименттік зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеулер СТ РК 1225-2019 және СТ РК 1218 талаптарына сәйкес жүргізілді. Активтелген күлді қолдана отырып, А және Б типті ұсақ түйіршікті асфальтобетондар, ірі түйіршікті асфальтобетон және қиыршық-тасты мастикалық асфальтобетон құрамдары таңдалды. Беріктік сипаттамалары, суға төзімділік, жарықшаққа төзімділік, ығысуға төзімділік және ойық түзілуге қарсы тұрақтылық бағаланды. Алынған нәтижелер активтелген құрғақ күлді қолдану асфальтобетон қоспаларының нормативтік физика-механикалық көрсеткіштерін қамтамасыз етіп, жоғары температура әсеріне төзімділігін арттыратынын көрсетті. Ең тиімді құрам минералды ұнтақ массасының 60 % құрғақ күлден тұратын қоспа болып шықты.

Түйін сөздер: асфальтобетон, активтелген күл, құрғақ күл, минералды ұнтақ, жол құрылысы, физика-механикалық қасиеттер, жол жабындары, ойық түзілу, суға төзімділік.

INFLUENCE OF ACTIVATED DRY ASH ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES

Pyrshaev D.K. [1,*], **Smagulova M.K.** [1]

[1]JSC "KazdorNII", Astana, Republic of Kazakhstan
*Corresponding author: Tptk2025@gmail.com

Abstract. The article presents the results of experimental studies evaluating the influence of activated dry ash, used as a partial replacement of mineral filler, on the physical and mechanical properties of dense asphalt concrete mixtures. The research was conducted in accordance with the requirements of ST RK 1225-2019 and ST RK 1218. Mix designs of fine-grained asphalt concrete types A and B, coarse-grained asphalt concrete, and crushed stone mastic asphalt concrete incorporating activated ash were developed. Strength characteristics, water resistance, crack resistance, shear resistance, and rutting resistance were evaluated. The obtained results show that the use of activated dry ash ensures compliance with regulatory physical and mechanical requirements of asphalt concrete mixtures and improves their resistance to high-temperature effects. The most effective composition contained 60% dry ash of the total mineral filler content.

Keywords. asphalt concrete, activated ash, dry ash, mineral filler, road construction, physical and mechanical properties, pavement, rutting, water resistance.



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/).