

УДК 624.139.

УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАЗАХСТАНА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Асмагулаев Б. А.

*доктор технических наук, почетный профессор МАДИ, Академический советник
Национальной инженерной академии РК, директор по науке
ТОО НИ ПК «Каздоринновация», г. Алматы, Республика Казахстан*

Асмагулаев Р. Б.

*кандидат технических наук, Академик транспорта ИТА,
директор ТОО НИ ПК «Каздоринновация», г. Алматы, Республика Казахстан*

Асмагулаев Н. Б.

доктор PhD, ТОО КазНИИПИ «Дортранс», г. Алматы, Республика Казахстан

Мазгутов Р.А.

*генеральный директор ТОО «Павлодаржолдары», Академик транспорта ИТА,
г. Павлодар, Республика Казахстан*

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями мировых стандартов, при современных транспортных нагрузках, автомобильные дороги окупаются при эксплуатации до 50 лет и более. Для увеличения межремонтных сроков дорожных конструкций до 50 лет и окупаемости затрат на полный жизненный цикл эксплуатации дорог, рекомендуется повысить несущую способность нижних слоев. Использование монолитных слоев в нижних слоях дорожной одежды приведет к увеличению затрат, поэтому рекомендуются использовать вместо традиционных затратных технологий, ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии и материалы. Для этого в Казахстане имеются уникальные возможности по имеющейся сырьевой базе и технике. Различные крупнотоннажные промышленные техногенные минеральные отложения, прошедшие термическую обработку при основном производстве, обладают вяжущими свойствами, которые во всех странах используются в дорожном строительстве. Согласно информации Министерства экологии и природных ресурсов, в 2023 году благодаря наблюдениям из космоса было обнаружено более 5,5 тысячи свалок по всей стране. Утилизация отходов является приоритетной государственной задачей в соответствии с действующим законом Казахстана "Зеленая экономика"

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*Автомобильные дороги, монолитные основания, ресурсосбережение,
техногенные отходы, сроки окупаемости дорог.*

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ

Модернизировать дорожную сеть и увеличить протяженность автомобильных дорог, является приоритетом любой страны, так как существует прямая зависимость между плотностью дорог, создающий мультипликативный более 10-кратного эффекта на все отрасли экономики и национальный доход на душу населения. Такие транспортно-развитые страны как: США, Китай, Индия, Япония, Бразилия, Франция, Германия и другие воспользовались мультипликативным экономическим эффектом, начав подъем экономик своих стран, широко масштабным строительством современных автомагистралей. Китай в 80-х годах выдвинул лозунг: «хочешь быть богатым - строй дороги», построено более 5,5 млн. км. дорог. Китай на первом месте по ВВП и на третьем месте по количеству автодорог, после США и Индии, а по скоростным автомагистралям на первом месте в мире.

Для примера; ежегодный бюджет транспортно-развитых стран: КНР выделяет на эти цели около 3,5% ВВП или 17 млрд.\$, США, Великобритания по 25 млрд.\$, а страны ЕС - на уровне 2,5% от ВВП.

В связи с изменением состава движения и повыше-

нием транспортных нагрузок в 3-4 раза, срок службы дорожных покрытий автомобильных дорог резко сократился: покрытия из асфальтобетона -до 5-6 лет, из цементобетона-до 20-25 лет [1-4]. Для повышения межремонтных сроков республиканских автомобильных дорог в Казахстане, с 2006 года принято постановление о строительстве дорог на 13 тс на ось транспорта. За 16 лет построено более 18 тыс. км дорог, в том числе более 2000 км. с цементобетонными и асфальтобетонными покрытиями на бетонных основаниях. В России с 2017 года межремонтные сроки дорожных одежд увеличены до 24 лет, для пропуска по федеральным дорогам автотранспорта с нагрузкой 11,5 тонн. В то же время в Казахстане и Российской Федерации принципы расчета дорожных одежд остались прежними, такими же, как и в нормативных документах 1960-80 гг. [1,2], со сроком эксплуатации 15-25 лет.

Многочисленные натурные исследования ученых крупнейших научных школ России, занимающихся вопросами динамики дорожных конструкций, МАДИ под руководством М.В. Немчинова, СибАДИ под руководством А.В. Смирнова и РГСУ под руководством С.К.

Илиополова и Е.В. Угловой позволили установить, что колебания дорожных конструкций сопровождаются деформациями всех слоев дорожной одежды, а модуль упругости грунта земляного полотна на глубине 1,8 м снижается до 12МПа, при частоте вибрации 1,75Гц. [5].

Новые мировые концепции свидетельствуют о необходимости коренной переработки действующей до сих пор в Казахстане и в России методики проектирования автомобильных дорог. Для увеличения межремонтных сроков дорожных конструкций до 50 лет и окупаемости затрат на полный жизненный цикл эксплуатации дорог, рекомендуется повышать несущую способность слоев «снизу-вверх» [3]. Использование монолитных слоев в нижних слоях дорожной одежды приведет к увеличению затрат, поэтому рекомендуются использовать вместо традиционных затратных технологий, ресурсосберегающие и энергосберегающие технологии и материалы. Для этого в Казахстане и в России имеются уникальные возможности по имеющейся сырьевой базе и технике. Различные крупно тоннажные промышленные техногенные минеральные отложения, прошедшие термическую обработку при основном производстве, обладают вяжущими свойствами и используются в цементной промышленности, а также в дорожном строительстве.

В Казахстане накоплено более 45 млрд тонн ТМО и ежегодный выход около 1 млрд. тонн. В России общий объем различных ТМО составляет более 100 млрд тонн, ежегодный выход более 5 млрд. тонн.

Идея создания основания более прочного, чем покрытие, не нова [3,6,7,8]. В России и Казахстане имеются совместные исследования по строительству и эксплуатации дорожных бетонов, с использованием крупно тоннажных промышленных техногенных минеральных отходов (ТМО) [4,6,7,8,9]. В связи с закрытием головного дорожного научно-исследовательского института «СоюзДорНИИ», дальнейшие исследования продолжены в Казахстане. В Казахстане 39 ТЭС работают на твердом топливе, в отвалах накоплено около 20 млрд тонн золы уноса, с ежегодным выходом до 100 млн. тонн. В 2022 году ФАУ «Росдорнии» и ООО «Газпром Энергохолдинг» заключили соглашение на 5 лет по применению золошлаков в дорожном строительстве. Для увеличения межремонтных сроков дорожных конструкций, применение продукции ТМО технологически и экономически выгодно, дешевле природных каменных материалов и требует более 3 раз меньше удельных капиталовложений. Утилизация ТМО является приоритетной государственной задачей по охране окружающей среды, в соответствии с действующим законом Казахстана «Зеленая экономика».

СТРОИТЕЛЬСТВО ДОЛГОВЕЧНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БЕЛИТОВЫХ ЦЕМЕНТОВ И ВЯЖУЩИХ ИЗ ТМО.

Опыт строительства цементобетонного покрытия автомобильной дороги «Алма-Ата-Капчагай», построенного в 1970 году, протяженностью 100 км показал, что срок эксплуатации которого составил 20 лет. Затем покрытие в 1990 году перекрыто асфальтобетонным покрытием, которое находилось в эксплуатации еще 25 лет до 2015 года, до полной реконструкции дороги. Верхний слой износа каждые 5-6 лет восстанавливался.

Идея о создании дорожных бетонов с высокой морозостойчивостью была осуществлена в советские периоды в 1976-1990 годах, после получения положительных результатов при строительстве первых участков дорог, с использованием укатанных шлакобетонов, протяженностью 10 км и 24 км по разработкам, выполненным в Казахском филиале СоюзДорНИИ [6, 8]. В Казахстане за период 1976-1990 годы было построено более 1200 км автомобильных дорог с использованием вяжущих из ТМО для бетонных покрытий со слоем износа из холодного и горячего асфальтобетона, в том числе в зимний период. Предварительно были созданы при комбинатах

ДСМ Министерства автомобильных дорог Казахской ССР базы по производству цемента и вяжущих, на основе использования ТМО. При этом использовались крупно тоннажные отходы: фосфорные и доменные гранулированные шлаки Чимкентского, Джамбулского фосфорного и Карагандинского металлургического заводов, бокситовые шламы Павлодарского алюминиевого завода, а также золы уноса 39-ти ТЭЦ.

За периоды с 1976-1984 годов построено 1200 км дорог с использованием бетонов на основе фосфорных, доменных гранулированных шлаков, золы уноса ТЭЦ и бокситового шлама.

Из результатов испытаний кернов, высверленных из шлакобетонов, построенных в 1976-1977 годах участков на дорогах «Александровна-Нестеровка» (10 км.) и «Фоголево-Жданово» (24 км) в условиях пониженных положительных и отрицательных температур, следует, прочностные показатели шлакобетонов, упрочняются в процессе эксплуатации дорог в течение более 35- 45 лет.



Рисунок 1. Многолетнее упрочнение самовосстанавливающихся дорожных бетонных покрытий, со слоем износа из асфальтобетона на автомобильных дорогах, построенных в 1976-1984 гг.: где бетоны на основе белитовых цементов и вяжущих из ТМО:

1-зола уноса ТЭЦ, 2-бокситовый шлам, 3-шлаки доменные и фосфорные.

Белитовые цементы и минеральные вяжущие, с преимущественным содержанием в составах двух кальциевого силиката (50%-85% С2S-Белит), обеспечивают долговечность дорожных бетонов и эксплуатацию дорог не менее 50 лет. Долговечность структуры белитовых цементов обеспечивается нано размерными новообразованиями, состоящих в основном из гидроликатов кальция С-S-H, которые способствуют практически полной гидратации цементных зерен. В отличие от традиционно используемых в дорожном строительстве алитовых портландцементов, с преимущественным содержанием до 65%, быстро затвердевающего трех кальциевого силиката (С3S - Алит). Гидратация С3S сопровождается образованием вокруг зерен цемента трудно водонепроницаемой оболочки из кристаллизационной структуры, которая со временем препятствует полной гидратации внутренней части зерен цемента. Поэтому полная гидратация трех кальциевого силиката практически достигает до 60%, с образованием более 40% «микро бетона Юнга» - не гидратированных зерен [12]. В дальнейшем, в течение 15-20 лет эксплуатации автомобильных дорог, происходит гидратация внутренней части зерен, что приводит к разрушению оболочек и снижению прочности цементобетонного покрытия [6-8,12,13]. Установлено, что портландцементы гидратируются в бетонах в течение до 5-6 лет, в зависимости от фракционного состава зерен цемента от 5-90 мкм [14,15]. Поэтому для полной гидратации всех зерен цемента размером 40-90 мкм и снижения преждевременных деформаций цементобетонных покрытий, рекомендуются устраивать слои износа из плотных асфальтобетонов. Для полного устранения отрицательного свойства алита-С3S, необходимо в бетонах, в качестве мелкого заполнителя использовать гранулированные шлаки, шламы или золы ТЭЦ [6-8, 14,16]

Автомобильная дорога 1 категории «Астана - Щучинск», участок №1 07-57 км, построенная в 2007 году с цементобетонным покрытием на основании из монолитного укатанного «самовосстанавливающегося» золобетона [10,11], уже в течение 16 лет эксплуатируется в идеальном состоянии. Мониторинг через 8 лет эксплуатации участка дороги км 07-57 «Астана-Щучинск». с помощью георадарного сканирования, подтвердил об эффективности использования слоя из дренирующего ЩПС, который снижает вибрацию цементобетонного покрытия, а водонепроницаемое золобетонное основание, препятствует переувлажнению верхних слоев дорожной одежды от поднятия капиллярной влаги от УГВ (см. рис. 2).

В Казахстане в процессе многолетнего мониторинга дорог установлено, что при современных транспортных нагрузках, с тяжелыми контейнерными автоперевозками, основными причинами преждевременных деформаций на дорогах являются:

- много циклическая вибрация слоев дорожной одежды, способствующая ускоренному поднятию капиллярной влаги снизу-от уровня грунтовых вод, а в первую очередь, начиная с увлажнения грунтов рабочего слоя земляного полотна, что подтверждается исследованиями Российских ученых [5];

- переувлажнению подвергаются все слои дорожной одежды: пористые асфальтобетоны, укрепленные малыми дозами цементов до 10% и щебеночно-песчаные слои, за исключением цементобетонных покрытий, оснований и асфальтобетонных покрытий из плотных смесей.

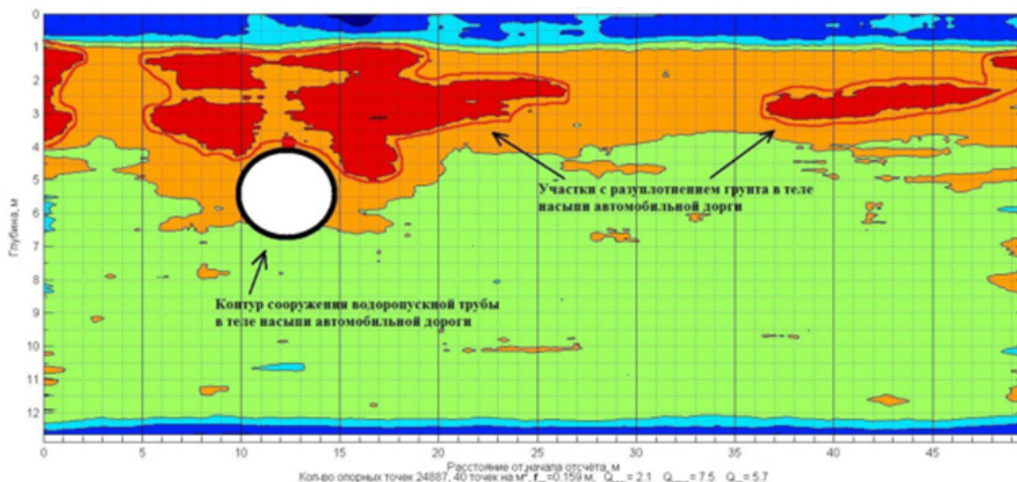


Рисунок 2. (Фото 2015г.) Георадарный снимок участка км 07-57 «Астана-Щучинск», построенного с учетом предложенной авторами инновационной дорожной конструкции. В дорожной одежде толщиной до 1 метра отсутствуют деформации. Покрытие 16 лет без дефектов.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БЕЛИТОВЫХ ЦЕМЕНТОВ И ВЯЖУЩИХ ИЗ ТМО.

Проведенные фундаментальные физико-химические исследования с проведением термографических, рентгеноструктурных и электронно-микроскопических анализов фазовых составов цементного камня, позволили нам разработать новые составы инновационных белитовых цементов. Новые цементы, обеспечивают требуемые технологические и технические свойства, для специфических условий поточного строительства и долговечной эксплуатации автомобильных дорог. Основным структурообразующим компонентом в белитовом цементном камне являются низко основные коллоидные гидросиликаты кальция С-S-H, которые представляют собой

аморфный клей, наноразмерных величин [8,11,15-17], обладающие свойством длительной тиксотропии. В белитовом цементном камне кристаллогидраты, содержание которых составляет от 20% до 40% в массе С-S-H клея, играют роль дисперсно-армирующих составляющих, и не препятствуют глубокой гидратации зерен цемента.

Применение укатанных высокотехнологичных дорожных бетонов имеют следующие преимущества:

- осуществление без ограничения по времени всех технологических операций при использовании традиционных дорожно-строительных машин и оборудования;

- повышение производительности и сокращение сроков строительства в 2-3 раза;

- сокращение затраты на строительство покрытий и оснований из укатанных бетонов почти на 30% по сравнению с аналогичными слоями из цементобетона.

Многолетний практический опыт применения высоко-технологичных укатанных шлакобетонов, шламобетонов и золобетонов показал, что строительство можно производить круглогодично, так как упрочнение бетонов обеспечивается при длительной эксплуатации дорог и в течение более 35-45 лет, по технико-эксплуатационным свойствам они не уступают высокопрочным цементобетонам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в мировой практике дорожного строительства и результатами многолетних фундаментальных и экспериментальных исследований и эксплуатации автомобильных дорог в Казахстане установлено, что применение белитовых цементов и вяжущих, полученных на основе промышленных крупно тоннажных техногенных минеральных отходов промышленности: золы-уноса ТЭЦ, доменных и фосфорных гранулированных шлаков, бокситовых шламов, позволяют повысить качество и снизить затраты на строительство и полный жизненный цикл эксплуатации дорог на 50 лет в 2-3 раза, улучшить качество окружающей среды и обеспечить экологическую безопасность дорожного строительства.

Белитовые цементы и вяжущие, с преимущественным содержанием в составе двухкальциевого силиката (более 50% до 85% C2S-Белит), обеспечивают долговечность дорожных бетонов и эксплуатацию дорог не менее 35-50 лет. Долговечность структуры белитовых цементов обеспечивается нано размерными гидросиликатами кальция C-S-H, за счёт полной гидратации цементных зерен, в процессе много летней эксплуатации автомобильных дорог.

Самовосстанавливающиеся дорожные наноструктурированные бетоны обладают свойствами длительного упрочнения коллоидных структур: тиксотропии – самовосстановление от разрушений и реопексии – упрочнение от действия транспортных и температурных нагрузок.

Применение дорожных конструкций с возрастающей прочностью «снизу-вверх» в соответствии с новыми мировыми концепциями потребует изменения методик проектирования и расчета дорожных одежд нежесткого и жесткого типа.

Широкое освоение нанотехнологий и наноматериалов в России и Казахстане, с комплексной переработкой крупно тоннажных промышленных техногенных отходов и вторичного сырья», позволит ускоренными темпами модернизировать сеть автомобильных дорог и поднять экономику наших стран.

Белитовые цементы и вяжущие получены на основе использования много тоннажных техногенных минеральных отходов (ТМО), прошедших термическую обработку при основном производстве. Поэтому при экологичном производстве белитовых цементов на заводах, при их измельчении не требуется обжига, как при производстве промышленных цементных клинкеров, с выделением токсичных CO₂. Применение белитовых вяжущих без измельчения производится путем простого перемешивания с активатором и заполнителями в стационарных или передвижных установках. Межремонтный срок дорожных бетонов гарантирован на 50 лет, с обновлением слоя износа каждые 10 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телтаев Б.Б., Асатулаев Б.А., Красиков О.А. и др. «Автомобильные дороги». СНИП РК 3.03-09-2006, Астана, 2007. С.48.
2. Корочкин А.В. Особенности проектирования дорожных одежд в Германии. Ж. Наука и техника в дорожной отрасли № 1/2022г. С.22-26.
3. Радовский Б. С. Концепция вечных дорожных одежд / Б. С. Радовский // Дорожная техника : каталог-справочник. – 2011. – С. 120-132.
4. Горельшнев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумо-минеральные материалы / Н. В. Горельшнев. – Можайск : Можайск-Терра, 1995. – 176 с.
5. Osinovskaya V.A. Vibrating destruction of flexible pavement and a ways of increase of their durability. //Structure and Environment. Kielce University of Technology. Faculty of Civil and Environmental Engineering. 2012. №4. vol.4. pp.5-10.
6. Асатулаев Б.А., Шейнин А.М., Чумаченко В.И. и др. Укатываемый бетон на основе шлакового вяжущего //Ж. Автомобильные дороги №9. -1993, с.18-20.
7. Асатулаев Б.А. Прочность шлако- и золоминеральных оснований в период ранней эксплуатации. //Ж. Автомобильные дороги, 1984, №1, с 17-18.
8. Асатулаев Б.А. Строительство дорожных одежд с повторным использованием материалов реконструируемых автомобильных дорог. Алматы: ТОО «Эверо», 1999. С. 212.
9. Асатулаев Б.А., Сильянов В.В., Асатулаев Р.Б., Асатулаев Н.Б. Применение наноструктурированных шлакоминеральных бетонов при строительстве автомобильных дорог. Ж. Промышленный транспорт Казахстана. Нур-Султан. 2021 № 2. С.30-34.
10. Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Асатулаев Н.Б. и др. Р. РК 218-314-2017 «Рекомендации по строительству и реконструкции автомобильных дорог и ИВПП аэродромов из укатываемых бетонов, на основе безобжиговых вяжущих». КАД МИИР РК, КазНИИПИ «Дортранс». Астана. 2017. С 36.
11. Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Асатулаев Н.Б. и др. Пате нт РК № 29852 «Самовосстанавливающийся дорожный бетон». / МЮ РК. Оpubл. 15.05.15, Бюл. № 5.
12. Тейлор, Х. Ф. Гидросиликаты кальция. Химия цемента / Х. Ф. Тейлор. – М. : Стройиздат, 1969. – С. 17-18.
13. Абланов, Б.Ф. Б. В. Белоусов, Б. А. Асатулаев. Исследование вещественного состава и кинетики твердения вяжущего на основе фосфорного шлака. //Вопросы металлургии, вещественного состава и геологического строения месторождений Казахстана /- Алматы, 1978. –Сб. трудов КАЗПТУ, Вып. 13. – С. 69-75.
14. Нанотехнологии XXI века для долговечных автомобильных дорог Казахстана. Монография под общей редакцией Асатулаева Б. А. //Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Сурашев Н.Т., Асатулаев Н.Б. Кабашев А.Р.// Талдыкорган: СП "LAZER", 2023. С.367. ISBN 978-601-08-3313-5
15. B A Asmatulayev, R B Asmatulayev and N B Asmatulayev. Use of self-recovering slowly-hardening concrete to longevity of highways. DS ART 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 832 (2020) 012019 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/832/1/012019. 1-13.
16. Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Асатулаев Н.Б. Перспективы использования наноструктурированных укатываемых бетонов для продления дорожно-строительного сезона. Сборник докладов 78-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, подсекции «Изыскания и проектирование дорог». М. 2020. С. 75-88.
17. Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Сурашев Н.Т., Асатулаев Н.Б. Строительство, технология и эксплуатация дорожных бетонных покрытий. Учебное пособие. Талдыкорган: СП "LAZER", 2022. С. 258. ISBN 978-601-7394-22-6.