

Б. А. Асатулаев, доктор технических наук, почетный профессор МАДИ, академический советник Национальной инженерной академии Республики Казахстан, директор по науке ТОО НИ ПК

«Каздоринновация», г. Алматы, Республика Казахстан;

О. А. Красиков, доктор технических наук, профессор, академик транспорта ИТА, советник генерального директора ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва;

Р. Б. Асатулаев, кандидат технических наук, академик транспорта ИТА, директор ТОО НИ ПК «Каздоринновация», г. Алматы, Республика Казахстан;

Н. Б. Асатулаев, докторант, магистр технических наук, главный инженер, ТОО КазНИИПИ «Дортранс», г. Алматы, Республика Казахстан;

Р. А. Мазгутов, генеральный директор ТОО «Павлодаржолдары», Академик транспорта ИТА, г. Павлодар, Республика Казахстан

УДК 624.139

УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РОССИИ И КАЗАХСТАНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНЫХ СРОКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ И ВТОРИЧНОГО АСФАЛЬТА

Актуальность разработки. В настоящее время в связи с изменением состава движения и повышением грузоподъемности автотранспорта до 12–13 тс на ось, срок службы дорожных одежд автомобильных дорог резко сократился: покрытия из асфальтобетона – до 5–6 лет, а из цементобетона – до 25 лет [1, 2]. В Казахстане около 100 тыс. км автомобильных дорог общего пользования, из них около 70% дорог, на которых срочно требуется реконструкция под современные транспортные нагрузки. Значительная часть средств, выделяемых на развитие дорожной отрасли, расходуется на ежегодно возрастающие объемы ремонта и содержание устаревших дорог. Затраты на содержание автомобильных дорог России, протяженностью более 1,5 млн км, требуют еще больших объемов. Поэтому строительство новых автомобильных дорог в России и Казахстане не превышает 600–700 км в год. Такие низкие темпы реконструкции и строительства новых дорог, по устаревшим нормативам [3, 4] рассчитанных на 20 лет, нельзя считать эффективными, так как это приводит к возрастающим объемам затрат на ремонт дорог. В соответствии с мировыми концепциями эффективность строительства автомобильных дорог оправдывается при сроках службы не менее 50 лет [5].

Теоретические предпосылки и практические возможности для освоения разработки.

В последние годы, в связи с увеличением транспортных нагрузок, износостойкость современных асфальтобетонных покрытий значительно снизилась [6, 7]. Поэтому многие исследования последних лет посвящены поиску и использованию различных полимеров и добавок в битум для повышения качества асфальтобетона [6, 7]. В то же время общеизвестно, что вяжущим в асфальтобетоне является не чисто битум, а асфальтовое вяжущее, состоящее из битума и минерального порошка [6]. Тонкодисперсный минеральный порошок с удельной поверх-

ностью до 3500 см²/г совместно с битумом образуют коллоидный раствор, что создает условия для тиксотропного коллоидного упрочнения асфальтобетона. Прочность чисто битумных связей в десятки раз ниже связей, образованных при совместном взаимодействии с минеральным порошком – асфальтовым вяжущим.

Известно, что коллоидная система упрочнения минеральных вяжущих [8, 9] обладает свойствами длительного сохранения тиксотропии – обратимое самовосстановление после разрушений и реопексии – упрочнение при действии нагрузок. Практического применения этой теории не имеется.

Новые мировые концепции свидетельствуют о необходимости коренной переработки действующей до сих пор в Казахстане и России методики проектирования дорог, для повышения долговечности дорог на 50 лет и несущей способности слоев дорожных одежд «снизу вверх» [5].

Использование монолитных слоев в нижних слоях дорожной одежды приведет к увеличению затрат, поэтому рекомендуется 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 многотоннажные промышленные техногенные минеральные отложения (далее ТМО), 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, ежегодный выход – около 1 млрд тонн (см. рис. 3). В России общий объем различных ТМО составляет более 100 млрд тонн, ежегодный выход – более 5 млрд тонн. В США и странах Европейского союза ТМО и асфальтовый лом практически используются полностью – от 80 до 100% (рис. 1).



Рис. 1. Использование ТМО и асфальтового лома в США, странах Европейского союза, России и Казахстане

В Казахстане 32 ТЭС работают на твердом топливе, в отвалах накоплено около 1,5 млрд тонн золы уноса, с ежегодным выходом до 35 млн тонн. В текущем году ФАУ «РОСДОРНИИ» и ООО «Газпром Энергохолдинг» заключили соглашение на 5 лет по применению золошлаков в дорожном строительстве. В золоотвалах угольной генерации в более 80 предприятиях «Газпром Энергохолдинг» накоплено свыше 200 млн тонн золошлаковых смесей, пригодных для дорожного строительства. Для увеличения межремонтных сроков дорожных конструкций применение продукции ТМО и вторичного асфальтового лома технологически и экономически выгодно, дешевле природных каменных материалов и требует более чем в 3 раза меньше удельных капиталовложений. Утилизация ТМО и вторичного сырья является приоритетной государственной задачей всех стран по охране окружающей среды.

В России и Казахстане имеются совместные исследования по строительству и эксплуатации дорожных бетонов с использованием многотоннажных промышленных техногенных минеральных отходов (ТМО) [10, 11]. В связи с закрытием головного Всесоюзного дорожного научно-исследовательского института «СоюздорНИИ» дальнейшие исследования продолжены в Казахстане.

Основные результаты исследований.

Идея о создании более прочного основания, чем покрытия, не нова [5, 10, 11]. О перспективах использования промышленных техногенных минеральных отходов в сочетании с цементом или цементной пылью, известью и другими активизаторами неоднократно отмечалось в совместных работах казахстанских и российских ученых [10, 11].

Ниже приводятся основные результаты многолетних исследований и испытаний дорог, подтверждающие долговечность дорожных бетонов, используемых в до-



Рис. 2. Кинетика упрочнения самовосстанавливающихся бетонных автодорог, находящихся в эксплуатации с 1976-1984 по 2016-2019 гг., на основе использования белитовых вяжущих из ТМО:

- 1 – золы уноса ТЭС, 2 – бокситовый шлам,
- 3 – гранулированные шлаки

рожном строительстве Казахстана уже более 35–40 лет (рис. 1). Многолетний мониторинг дорог, который ранее не проводился, подтвердил, что медленноотвердеющие вяжущие не являются малоактивными и могут использоваться для бетонов высоких марок. Наиболее эффективно их использование при строительстве автомобильных дорог, так как свойства белитовых вяжущих полностью отвечают требованиям поточного ведения работ и длительное упрочнение бетонов обеспечивается в условиях многолетней эксплуатации автомобильных дорог.

В Казахстане за период 1976–1990 годов 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 цементов и вяжущих на основе использования ТМО. При этом использовались многотоннажные отходы: фосфорных и доменных гранулированных шлаков Чимкентского, Джамбулского



Рис. 3. Фото 2007 года. Слой из дренажирующего ЩПС снижает вибрацию цементобетонного покрытия, а водонепроницаемое золобетонное основание исключает переувлажнение верхних слоев дорожной одежды от поднятия капиллярной влаги от УГВ

фосфорного и Карагандинского металлургического заводов, бокситовые шламы Павлодарского алюминиевого завода, а также золы уноса 32 ТЭЦ.

С 2006 года в Казахстане дороги республиканского значения строятся под 13 тс на одиночную ось. В России с 2017 года межремонтные сроки дорожных одежд увеличены до 24 лет для пропуска по федеральным дорогам автотранспорта с нагрузкой 11,5 тонны. В то же время в Казахстане и Российской Федерации принципы расчета дорожных одежд остались прежними, такими же, как и в нормативных документах 1960–1980 гг. [3, 4].

В настоящее время в Республике Казахстан эксплуатируется более 1500 км дорог с цементобетонными покрытиями на международных автомагистралях: «Западная Европа – Западный Китай», Алматы – Талдыкорган – Караганда – Астана – Щучинск – граница России, Алматы – Хоргос и других. Кроме того, построено более 300 км автомобильных дорог с асфальтобетонными покры-

тиями на монолитных основаниях из укатываемого бетона на основе белитовых вяжущих из ТМО, и в стадии строительства находятся около 240 км дорог.

Автомобильная дорога 1-й категории Астана – Щучинск протяженностью 50 км, построенная в 2007 году с цементобетонным покрытием на основании из самовосстанавливающегося золобетона [12], уже в течение 15 лет эксплуатируется в идеальном состоянии. Эффект самовосстанавливающихся бетонов объясняется за счет коренного изменения макро- и микроструктуры дорожного бетона путем перехода от кристаллической к коллоидной структуре белитового цементного камня [9, 12].

Через 8 лет мониторинг эксплуатации участка дороги км 07–57 Астана – Щучинск с помощью георадарного сканирования подтвердил эффективность использования слоя из дренажирующего ЩПС, который снижает вибрацию цементобетонного покрытия, а водонепроницаемое золобетонное основание препятствует переувлажнению верхних слоев дорожной одежды от поднятия капиллярной влаги от УГВ (см. рис. 3 и 4).

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

- многоциклическая вибрация слоев дорожной одежды способствует ускоренному поднятию капиллярной влаги снизу – от уровня грунтовых вод, а в первую очередь начиная с увлажнения грунтов рабочего слоя земляного полотна;



Рис. 4. Фото 2007 года. Строительство цементобетонного покрытия км 07–57 Астана – Щучинск с использованием в основании монолитного золобетона М350, F200, с промежуточным дренажирующим и виброгасящим слоем из щебеночно-песчаной смеси (М1000)



Рис. 5. Фото 2016 года. Строительство автомобильной дороги Караганда – Темиртау со слоем износа из асфальтобетона на укатанном шлакобетонном покрытии. Шлакобетонную смесь готовили в бетоносмесительной установке

– при отсутствии препятствия для капиллярной влаги – морозостойкого монолитного слоя основания, происходит переувлажнение всех пористых слоев дорожной конструкции, в том числе пористых асфальтобетонов и укрепленных материалов малыми дозами цемента.

Строительство автодороги Караганда – Темиртау проводили с использованием укатанного бетона М350, на основе шлакового вяжущего из гранулированного доменного шлака – 18%, активированного цементом – 2% и заполнителя из шлакового щебня фракции 10–40 мм, толщина бетона – 25 см (рис. 5). Шлакобетонную и асфальтобетонную смеси укладывали двумя асфальтовыми укладчиками, укатывали бетон комбинированными пневмо-валцовыми катками. Межремонтный срок дорожной конструкции гарантирован на 50 лет, с обновлением слоя износа каждые 10 лет.

При строительстве автомобильной дороги Семей – Павлодар дорожная конструкция состояла из рабочего слоя земляного полотна из грунтошлакобетона М150, толщиной 30 см, основания из шлакобетона М300, толщиной 28 см и покрытия из асфальтобетона – 15 см. При этом сэкономлено 60% цемента, битума – 50% и каменных ма-

Фото 2016. Нарезка температурных швов на нижнем слое наноструктурированного шлакобетонного покрытия на а/д II категории «Семей-Павлодар», через 10 км.



Предварительная нарезка швов на затвердевшем наноструктурированном шлакобетоне производится в течение 7-14 суток, на захватке до 3-5 км., для устранения их отражения на асфальтобетонном слое верхнего покрытия.

Рис. 6. Нарезка температурных швов на шлакобетонном основании через каждые 10 метров на автомобильной дороге 2-й категории Семей – Павлодар исключает отраженные трещины на асфальтовом покрытии

териалов до 70%. Срок межремонтной эксплуатации гарантирован на 50 лет, с обновлением слоя износа через каждые 10 лет.

Научные исследования, подтверждающие достоверность разработки.

Физико-химическими фундаментальными исследованиями подтверждено [9], что минералогический состав белитового шлакового цементного камня преимущественно состоит из медленнотвердеющих двухкальциевых гидросиликатов С2S-белит – от 50% до 85%. Традиционные портландцементы преимущественно состоят из быстротвердеющих гидросиликатов С3S-алит до 65% и С2S-белит до 20%.

Формирования структуры медленнотвердеющего шлакового цементного камня в процессе его твердения в течение 8 лет, для наглядности показаны на фотографиях разломов цементных балочек, испытанных на растяжение при изгибе, приведены на рисунке 7.

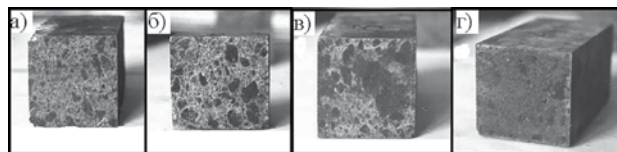


Рис. 7. Фотографии разломов образцов, твердевших в нормальных условиях и испытанных через: а – 1 год; б – 3 года; в – 6 лет; г – 8 лет

Характер медленного разложения зерен цемента и возникновения новообразований наглядно прослеживается на фотографиях (рис. 6). Количество гелевидных новообразований в пробах с увеличением возраста образцов повышается. Но даже через 8 лет твердения в нормальных условиях в пробах цемента наблюдаются негидратированные зерна, что свидетельствует о потенциальной возможности цемента к дальнейшему твердению.

Результаты испытаний бетонных дорог в течение 35–40 лет эксплуатации (рис. 2) подтверждают, что независимо от сезонных температурных круглогодичных изменений и транспортных нагрузок упрочнение бетонов продолжается в процессе многолетней эксплуатации дорог.

О замедлении процессов гидратации цемента, с понижением температуры твердения свидетельствуют результаты испытаний белитовых цементов при различных температурах (рис. 8).

На рисунке 8 показаны результаты испытания ряда образцов № 5, 6, 7, 8 в сравнении с образцами № 2, постоянно твердевшими в нормальных тепло-влажностных, лабораторных условиях – в ваннах с гидрозатвором.

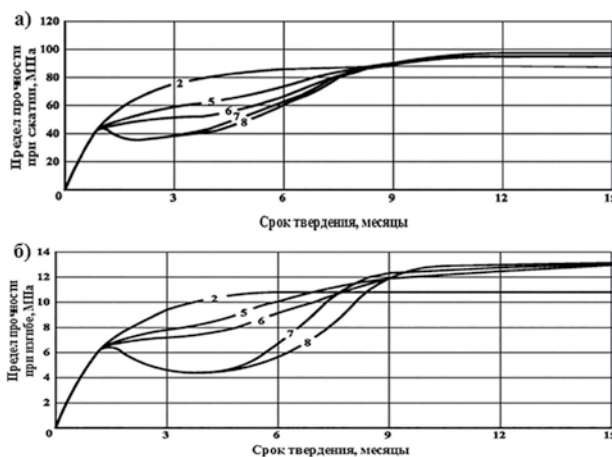


Рис. 8. Кинетика изменения прочности образцов белитового цементного камня во времени: 2 – постоянно в нормальных условиях; 5, 6, 7, 8 – предварительно выдержанных 1 месяц при нормальных условиях, затем 5 месяцев: при +5°C; 0°C; -5°C; -10°C; и опять в нормальных условиях, где: а – прочность на сжатие; б – прочность на растяжение при изгибе

Данные свидетельствуют, что низкие положительные и отрицательные температуры замедляют процесс твердения цемента, предварительно выдержанного в нормальных условиях. При этом прочность на сжатие и при изгибе достигает более 100 МПа и 13 МПа соответственно, что свидетельствует о равнопрочности белитовых цементов с высокопрочными портландцементами.

Таблица 1. Результаты испытания кернов из бетонного покрытия со слоем износа из асфальтобетона на автодороге Фоголевка – Жданово

Наименование измеряемого показателя, МПа в 1977 г. 90 суток	Испытание кернов в 1989 г., МПа, (возраст бетона 12 лет)	Испытание кернов в 2005 г., МПа, (возраст бетона 28 лет)
Прочность керна на сжатие, 15 МПа	36,4; 36,7; 36,5 Среднее 36,5 (М 350)	48,6; 49,0; 48,8 Среднее 48,8 (М 450)
Прочность керна на изгиб, 3,5 МПа	-	8,6; 8,3 МПа

В таблице 1 представленные результаты испытания кернов, высверленных из бетонного покрытия автомобильной дороги Фоголевка – Жданово, построенной в 1977 году, свидетельствуют о непрекращающемся упрочнении укатываемого бетона более 2 раз в течение 12 лет и 3 раза – через 28 лет эксплуатации дороги.

Полученные результаты петрографического (рис. 2), рентгеноструктурного, дифференциально-термического анализов (не приведены) и наблюдения с помощью сканирующего электронного микроскопа (рис. 9) показали, что при твердении белитовых цементов основными структурообразующими новообразованиями в бетонах являются гелевидные низкоосновные гидросиликаты кальция типа С–S–Н [8, 9]. Это позволяет предположить, что из всех теорий твердения минеральных вяжущих можно выделить коллоидную теорию В. Михаэлиса [8], которая, очевидно, будет более обоснованной для объяснения процессов длительного упрочнения белитовых цементов.

При нормальной температуре гидросиликаты С–S–Н формируются в виде пластинчатых субмикрористаллов, средняя длина которых близка к 10000Å (1 мкм), а ширина и толщина составляют соответственно 360–560Å и 20–30Å, или соответственно 36–56 нм и 0,2–0,3 нм [9]. Ввиду очень малых размеров гидросиликатов, а также их способности адсорбировать на своей поверхности воду, гидросиликаты имеют свойства коллоидов. Потеря или насыщение водой сопровождается изменением расстояния между слоями кристаллической

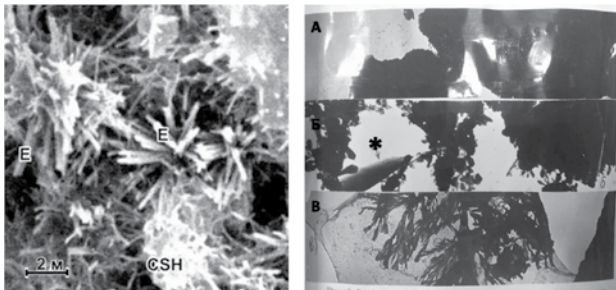


Рис. 9. Фото – микроструктура цементного камня: слева – алитовый цементный камень, через 28 суток, E – кристаллы этtringита, CSH – волокна С-S-H [8]; справа – белитовый цементный камень [9]: а – через 28 суток; б – через 90 суток, трубочка (*) С-S-H; в – через 180 суток, волокна С-S-H. Фото электронным микроскопом – увеличение 25 000

решетки гидросиликата С–S–Н, что приводит к изменениям прочности материала.

Дальнейшее выдерживание материала во влажных условиях обеспечивает адсорбцию влаги гелем, восполнение связующих водных пленок между слоями решетки гидросиликата и восстановление прочности материала (рисунки 8а, 8б и 10). Поэтому белитовые дорожные бетоны обладают свойством самовосстановления, вне зависимости от температурно-климатических изменений и динамических транспортных нагрузок.

Это также подтверждается изменением количества прочносвязанной воды в цементном



Рис. 10. Кинетика изменения количества прочносвязанной воды в белитовом цементном камне в процессе твердения при различных температурах: где 2 – постоянно в нормальных условиях; 5, 6, 7, 8 – предварительно выдержанных 1 месяц при нормальных условиях, затем 5 месяцев соответственно при +5°C; 0°C; -5°C, -10°C, затем опять в нормальных условиях (по рис. 3)

камне образцов, выдержанных при различных температурных режимах (рис. 10).

Результаты изменения количества прочносвязанной воды в цементном камне (рис. 10), установленного путем измерения потерь массы проб после их прокаливания при 1000°C, предварительно выдержанных при 105°C, подтверждают следующее. Кинетики изменений прочности (рис. 8) и количества прочносвязанной воды (рис. 10) цементного камня, в зависимости от температуры выдерживания проб, аналогичны, что подтверждает достоверность теоретических предпосылок о самовосстанавливающихся свойствах белитового цемента. При выдерживании цементного камня при низких температурах (пробы №5–8), снижение прочности (рис. 8) сопровождается вытеснением прочносвязанной воды (рис. 10) из волокнистых новообразований в количестве 10–30% от массы имеющейся влаги в их капиллярах, а при дальнейшем выдерживании при нормальных условиях их количество и прочность цементного камня восстанавливаются в течение одного месяца. Дальнейшее выдерживание при нормальных условиях в течение трех месяцев – прочность и количество прочносвязанной воды превышает пробы нормального твердения. Это

свидетельствует об углублении процессов гидратации зерен цемента и повышении дисперсности новообразований при низких температурах выдерживания, что также повышает прочность цементного камня и бетонов дорог (рис. 2, 8 и табл. 1).

При испытании образцов бетона в возрасте 90 суток на морозостойкость (рис. 11) было проведено до 200 циклов замораживания и оттаивания. Как видно из рисунка 11, происходит незначительное снижение прочности за счет отжатия влаги из капилляров С-С-Н и снижения ее количества (рис. 10). При дальнейшем выдерживании образцов при нормальных условиях прочность бетонов полностью восстанавливается и даже превосходит по прочности бетоны 90-суточных образцов, что подтверждается результатами испытаний, приведенными на рисунках 2, 8, 10 и в таблице 1.

Дорожные нанобетоны обладают медленным твердением по сравнению с традиционными цементобетонами, но

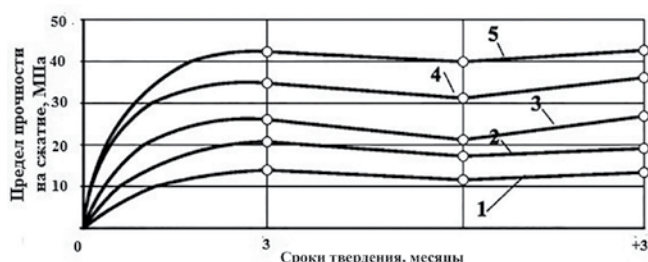


Рис. 11. Самовосстановление прочности дорожного бетона, испытанного на морозостойкость (МРЗ-200), в зависимости от количества белитового цемента: 1, 2, 3, 4, 5 соответствует 10, 12, 15, 18 и 20 мас.% в бетонах

прочностные показатели в длительные сроки превышают показатели цементобетонов. При этом прочность на растяжение при изгибе в 2 раза выше при равной прочности на сжатие с цементобетоном М450 (таблица 1).

При твердении белитовых цементов основными структурообразующими новообразованиями в бетонах являются гелевидные низкоосновные гидросиликаты кальция наноразмерных величин С-С-Н [8, 9]. Это позволило установить [9, 13], что коллоидная система упрочнения минеральных вяжущих [8, 9], при использовании в асфальтобетоне в качестве минерального порошка, способствует более длительному самовосстановлению покрытий от преждевременных разрушений и упрочнению при действии транспортных нагрузок. Практическое применение было использовано при реконструкции ряда дорог.

Результаты испытаний при реконструкции дороги Астана – Боровое методом холодного ресайклирования существующего асфальтобетонного покрытия с введением белитового вяжущего, приведенные в таблице 2, показали, что введение дополнительно битума в количестве 2% является излишним; снижается прочность (участок 4, состав 1), и на дороге появляются выделения битума.

Поэтому дорога построена с использованием максимального количества асфальтового гранулята до 70% и по 15% шлакового щебня и шлакового белитового вяжущего. Прочность асфальто-минеральных бетонов, так же как и

Таблица 2. Прочность кернов асфальто-минерального бетонного основания через 3 года эксплуатации автодороги Астана – Боровое

Участок	Состав	Прочность кернов, через 3 года эксплуатации		
		Rсжатие	Rраскол	МРЗ
1	2	14,5	4,7	100
2	2	14,4	5,1	100
3	2	13,8	4,5	100
4	1	12,1	3,9	75
5	2	14,7	4,8	100
6	2	18,1	5,1	100

Примечание. Состав №1 с введением дополнительно 2% битума

асфальтобетонов, зависит от температуры испытания кернов (таблица 3). Это свидетельствует о том, что в асфальто-минеральном бетоне на уровне микроструктуры совместно взаимодействуют минеральное белитовое вяжущее и битум, содержащийся в асфальтовом грануляте. Это хорошо согласуется с выводами, сделанными по органо-шлакощелочным смесям ранее профессором Н.В. Горелышевым [6]. Позднее наши выводы [6, 9, 13] были подтверждены и зарубежными исследованиями [14, 15].

Асфальто-минеральные бетоны и дорожные бетоны на основе наноструктурирующих белитовых вяжущих отвечают требованиям современных концепций «вечных дорог» и «дорог с продолжительной жизнедеятельностью» США и стран ЕС, которые позволяют строить дорожные конструкции со сроком эксплуатации не менее 50 лет.

Инновационная концепция строительства автомобильных дорог (дорожных конструкций) предусматривает полное ресурсосбережение на всех стадиях «жизнедеятельности» автомобильной дороги: при строительстве, ремонте и реконструкции, с полной утилизацией всех материалов и повторным их использованием.

Таблица 3. Прочность асфальто-минеральных бетонных кернов, вырезанных из автодороги Астана – Боровое в периоды эксплуатации

Возраст кернов	Прочность на сжатие Rж, МПа при t°С			
	20°С	50°С	0°С	-10°С
15 суток	4,81	2,29	7,4	7,9
2 года	9,44	3,32	12,5	18,6
3 года	15,15	4,22	13,8	22,5

По всем новым дорожно-строительным материалам и технологиям получены более 60 патентов Казахстана [16–19], разработаны и утверждены более 40 нормативно-технических документов, которые используются при проектировании и строительстве автомобильных дорог.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Самовосстанавливающиеся дорожные наноструктурированные укатанные бетоны в длительные сроки упрочнения по прочностным и деформативным показателям не уступают высокопрочным цементобетонам М450, предназначенным для строительства покрытий и оснований автомобильных дорог высоких категорий. В качестве заполнителей в бетонах могут использоваться щебеночно-гравийно-песчаные смеси, а также малопрочные материалы и грунты.

2. Наноструктурированные асфальто-минеральные бетоны на основе повторного использования асфальтового гранулята или холодного асфальтобетона по прочностным показателям соответствуют укатанным бетонам М 150–200, с сохранением упруго-пластичных свойств. Можно использовать в основаниях, со слоем износа из асфальтобетона или цементобетона для всех категорий автомобильных дорог.

3. Преобладающее содержание наноразмерных гидросиликатов С–S–Н в белитовом цементном камне и асфальтовом вяжущем придают дорожным укатанным бетонам свойство коллоидного длительного упрочнения исключительно в условиях многолетней эксплуатации автомобильных дорог. Широкое применение нанотехнологии и наноматериалов позволит повысить межремонтные сроки автомобильных дорог до 35–50 лет и снизить затраты на полный жизненный цикл содержания и эксплуатации автомобильных дорог в 2–3 раза.

4. Инновационные наноструктурированные асфальто-минеральные бетоны и дорожные укатанные бетоны являются высокотехнологичными дорожно-строительными материалами, свойства которых полностью соответствуют требованиям линейно-поточного строительства дорог, новизна которых подтверждена рядом патентов на изобретения. Применение нанотехнологии и наноматериалов имеют следующие преимущества:

- ускоряются темпы и гарантируется качество строительства бетонных дорог за счет отсутствия выдержки бетонов до набора ими расчетной прочности, движение по нанобетонам можно открывать непосредственно после завершения уплотнения;

- строительство дорог из холодных и теплых асфальто-минеральных и дорожных укатанных бетонов можно производить при низких и отрицательных температурах до минус 20 градусов;

- при производстве дорожных белитовых цементов и белитовых минеральных порошков на цементных заводах производительность заводов повысится более чем в 2 раза; так как исключается из цикла производства цементов обжиг клинкера, снижается до 70% стоимость цемента;

- широкое применение многотоннажных промышленных техногенных отложений России и Казахстана явля-

ется приоритетом по действующим законам «Зеленая экономика» и будет содействовать улучшению экологии окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков В.В. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Обзорная информация // Информационный центр автомобильных дорог. – 2002. – Вып. 6. – С. 28.
2. Носов В.П. Причины образования уступов на цементобетонных покрытиях автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – Вып. 3. – С. 23–26.
3. Телтаев Б.Б., Асатулаев Б.А., Красиков О.А. и др. «Автомобильные дороги». СНИП РК 3.03-09-2006, Астана, 2007. – С.48.
4. Корочкин А.В. Особенности проектирования дорожных одежд в Германии // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2022. – Вып. 1. – С. 22–26.
5. Радовский Б.С. Концепция вечных дорожных одежд. Каталог-справочник: Дорожная техника. – 2011. – С. 120–132.
6. Горельшев Н.В. Асфальтобетон и другие битумо-минеральные материалы. – Можайск: Терра, 1995. – С. 176
7. Гохман Л.М. Битумы, полимер-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимер-асфальтобетон. М.: Экон, 2008. – 118 с.
8. Тейлор Х.Ф. Гидросиликаты кальция. Химия цемента. – М.: Стройиздат, 1969. – С. 17–18. [Tejlor H.F. Gidrosilikatykal'ciya. Himiyacementa. – М.: Strojizdat, 1969. – S.17–18].
9. Абланов Б.Ф., Белоусов Б.В., Асатулаев Б.А. Исследование вещественного состава и кинетики твердения вяжущего на основе фосфорного шлака. Вопросы металлогении, вещественного состава и геологического строения месторождений Казахстана. – Алматы, 1978, Вып. 13. – С. 69–75.
10. Асатулаев Б.А., Шейнин А.М., Чумаченко В.И. и др. Укачиваемый бетон на основе шлакового вяжущего // Автомобильные дороги. – 1993. – № 9. – С. 18–20.
11. Исаев В.С., Еркина Н.А., Юмашев В.М., Васильев Ю.М., Саль А.О., Асатулаев Б.А. Методические рекомендации по строительству оснований и покрытий из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных неорганическими вяжущими. – М.: Минтрансстрой СССР, СоюздорНИИ, 1985. – 150 с.
12. Инновационный патент № 29852 РК. Самовосстанавливающийся дорожный бетон / Асатулаев Б.А. и др. Оpubл. 15.05.15, бюл. № 5.
13. Асатулаев Б.А. Строительство дорожных одежд с повторным использованием материалов реконструируемых автомобильных дорог. Алматы: ТОО «Эверо», 1999. – С. 212.
14. K. Sobolev. Mechano-chemical modification of cement with high volumes of blast furnaceslag [Механо-химическая модификация цемента с высоким содержанием доменного шлака]. Set Concr Compos 2005; 27 (7–8): 848–53.
15. Organic calcium silicate hydrate hybrids: a new approach to cement based nanocomposites / J.Minet [et al.] // J Mater Chem. – 2006. – № 16. – P. 1379–1383.
16. Патент №4110 на полезную модель РК. Конструкция дорожной одежды на основе наномодифицированного бетона / Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Чумаченко В.И., Асатулаев Н.Б., Мазгутов Р.А., Аманкосов Ж.А., Езмахунов Р.Р. Оpubл. 2019. Бюл. №26.
17. Инновационный патент № 4871 РК. Способ строительства дороги с использованием фрезерованного асфальтового гранулята / Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Асатулаев Н.Б., Бессонов Д.В., Исламов В.А., Амирханов Ж.А. Оpubл. 2020. Бюл. №16.
18. Инновационный патент № 2021/0271.2 РК. Наноструктурирующий минеральный порошок и наноструктурированный асфальтобетон / Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Чумаченко В.И., Асатулаев Н.Б., Исламов В.А. Бессонов Д.В. Оpubл. 2021. Бюл. №16.
19. Инновационный патент №30948 РК. Теплая или холодная асфальтобетонная смесь (варианты) / Асатулаев Б.А., Асатулаев Р.Б., Турсумуратов М.Т., Исламов В.А., Амирханов Ж.А., Асатулаев Н.Б. Оpubл. 2016. Бюл. №3.