

## АННОТАЦИЯ

к диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074500 - «Транспортное строительство» Асматулаева Нурсултана Борисовича на тему «Технологии строительства автомобильных дорог при низких и отрицательных температурах (на примере укатанных наноструктурированных бетонов)»

**Актуальность темы:** в стране уже имеются автомобильные дороги международного уровня, построенные под нагрузку 13 тс на ось, принятой постановлением правительства в Казахстане с 2006 года. К сожалению, на вновь реконструированных дорогах, проявляются преждевременные деформации, трещины и шелушение покрытий. Очевидно, дорожные конструкции, рассчитанные по убывающему модулю упругости слоев «сверху-вниз», не отвечают постоянно возрастающему современному потоку движения большегрузных автомобилей с нагрузкой на ось 13 тс и более, тем самым сокращают сроки службы дорог. Современными концепциями «вечных дорог» США и «дорог с продолжительной жизнедеятельностью» стран Евросоюза [1,2], отмечается, что дороги окупаются при сроках их службы 50 лет и более. Экспертами считается, что для долговечности дорог необходимо повысить прочность покрытий на сжатие и несущей способности слоев дорожных конструкций «снизу-вверх».

Выше перечисленные технологические сложности можно избежать, если применять технологию устройства слоев дорожных одежд из жестких укатываемых бетонов, на основе медленно твердеющих вяжущих. Бетонные покрытия из укатываемых бетонов имеют меньшую стоимость, за счет использования общестроительной техники, машин и оборудования, используемых для устройства асфальтобетонных покрытий. Затраты на строительство таких покрытий и оснований почти на 30-50 % ниже, по сравнению с таковыми цемента и асфальтобетонными покрытиями и основаниями. Однако медленно твердеющие вяжущие в нормативных документах отнесены к малоактивным вяжущим и используются для обработки каменных материалов и укрепления грунтов с максимальной прочностью до 4-6 МПа и F25 в расчетный срок 90 суток. В длительные сроки твердения такие вяжущие практически не исследовались.

Вопросам круглогодичного дорожного строительства до сих пор мало уделяется внимания, а это 5-7 месяцев простоя. В диссертационной работе приведены результаты исследований технологии зимнего строительства дорог из наноструктурированного укатываемого бетона на основе белитовых вяжущих. Основными структурообразующими новообразованиями в бетоне, являются в преобладающем количестве – гелевидные низкоосновные гидросиликаты кальция типа C-S-H, наноразмерных величин, что обеспечивает высокую технологичность при строительстве и без ущербную

долголетнюю эксплуатацию дорог от климатических и транспортных нагрузок.

Ученые цементной промышленности, изучавшие сущность твердения портландцемента и других неорганических вяжущих веществ, в которых была раскрыта теории твердения этих вяжущих, выдвинутой А. А. Байковым и развитой затем другими учеными — В. А. Киндом, В. Н. Юнгом, В. Ф. Журавлевым, П. П. Будниковым, П. А. Ребиндером, Н. А. Тороповым, А. Е. Шейниным, А. В. Волженским и др. в основном исследовали быстро твердеющие цементы и шлакопортландцементы, используемые для промышленно-гражданского и мостового строительства, что и получило распространение на дорожное строительство.

В. Михаэлис [51, с.285] и др. выдвинули теорию твердения, по которой решающим при схватывании цемента являются коллоидно-химические явления. Коагуляционные структуры — гели обладают тиксотропией - способностью обратимо восстанавливаться после механического разрушения в результате соударения частиц в броуновском движении и сцепления коагуляционными центрами. Тиксотропия, пластичность, **сравнительно низкая прочность** и высокоэластические свойства таких дисперсных структур определяются остаточными тончайшими прослойками жидкой среды в местах сцепления между частицами дисперсной фазы. По-видимому, утверждение, что коллоидные структуры имеют «сравнительно низкую прочность», свидетельствует о не изученности прочности таких структур в длительные сроки твердения. Применение монолитных материалов обеспечивает качество получаемых конструктивных слоев и надежность их работы в дорожной одежде в различных природно-климатических условиях с учетом роста не только интенсивности движения, но и транспортных нагрузок.

Следовательно, актуально решение комплексной проблемы, с учетом условий мировых концепций долговечных дорог.

**Объект исследования:** основание дорожной конструкции из белитовых вяжущих, утилизация промышленных отходов, строительство дорог.

**Предмет исследования:** технологии строительства автомобильных дорог при низких и отрицательных температурах в Казахстане из отходов промышленности.

**Цель исследования:** исследование применения белитовых вяжущих материалов в зимних условиях строительства. Влияние на материал низких и отрицательных температур.

**Задачи исследования:**

- теоретически обосновать возможность строительства долговечных автомобильных дорог из монолитных укатанных бетонов на основе белитовых шлаковых цементов и вяжущих;

- исследовать фазовые составы новообразований при упрочнении белитовых шлаковых цементов и вяжущих на основе применения физико-химических фундаментальных исследований и обосновать нано размерность структуры коллоидного упрочнения шлаковых цементов;

- исследовать и разработать составы наноструктурированных укатанных бетонов на основе белитовых вяжущих, для устройства долговечных монолитных оснований дорожных одежд автомобильных дорог;

- исследовать и разработать технологию строительства автомобильных дорог при положительных и отрицательных температурах из укатанных наноструктурированных бетонов на основе белитовых шлаковых цементов и вяжущих из техногенных отходов промышленности для круглогодичного строительства и эксплуатации автомобильных дорог;

- провести технико-экономическое обоснование строительства автомобильных дорог из наноструктурированных укатанных бетонов на основе белитовых шлаковых цементов и вяжущих. Разработать нормативно-технический документ и испытать опытные участки.

**Степень изученность темы.** Исследование базируется на результатах научных и творческих трудов, практического опыта отечественных и зарубежных строителей:

- Основные методы испытания изложены в ГОСТ, СНиП, СП РК, СТ РК, также в различных рекомендациях.

- Практический опыт строительства дорожных одежд с повторным использованием материалов и отходов промышленности были получены от отечественных ученых

- В трудах, *зарубежных* ученых были выдвинуты теории твердения, по которой решающим при схватывании цемента являются коллоидно-химические явления. Коагуляционные структуры — гели обладают тиксотропией - способностью обратимо восстанавливаться после механического разрушения.

- Основы по использованию отходов промышленности в строительстве были заложены в трудах *советских* ученых.

По-видимому, утверждение, что коллоидные структуры имеют «сравнительно низкую прочность», свидетельствует о не изученности прочности таких структур в длительные сроки твердения.

Особые свойства полученного шлакового вяжущего (высокая прочность, пониженная жесткость, медленное и длительное твердение), изученные при положительных температурах, говорят о целесообразности их использования в дорожном строительстве. Однако остаются не изученными вопросы влияния низких положительных и отрицательных температур на свойства вяжущего, имеющие место в естественных условиях круглогодичной эксплуатации дорог. Поэтому для более детального исследования и возможности применения, вяжущего при круглогодичном строительстве и эксплуатации необходимо изучение влияния низких температур и особенно раннего замораживания на его свойства.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

- теоретически обоснована возможность получения монолитных дорожных самовосстанавливающихся бетонов на основе белитовых цементов (Наноструктура — это ансамбль атомов или молекул, который хотя бы в одном измерении имеет размер менее 100 нм и структурно различим от окружения)

и вяжущих, основными компонентами которых являются техногенных минеральные отходы промышленности (ТМО), для строительства долговечных и экономичных конструкций дорожных одежд;

- предложены дорожные конструкции для применения в основаниях и покрытиях со слоем износа из монолитных дорожных бетонов на основе белитовых цементов под нагрузку 13 т и более;

- установлены закономерности формирования структуры белитовых цементов при различных температурах, позволяющие обосновать технологические особенности строительства и долголетней эксплуатации автомобильных дорог из дорожных бетонов на их основе;

- предложены оптимальные составы асфальт-минеральных и дорожных бетонов на основе белитовых цементов и вяжущих, в том числе с повторным использованием асфальтового гранулята, новизна которых защищена патентами РК №45589, 45869, и 48373.

#### **Научной гипотезой являются две взаимоувязанные идеи:**

- исследовать структурообразование медленно твердеющих вяжущих в длительные сроки твердения в условиях дорожного строительства и эксплуатации дорог. Учитывая, что коллоидные структуры упрочнения наряду с тиксотропией, обладают свойством реопексии- упрочнения от действия внешних сил. Длительное обеспечение тиксотропии и реопексии структуры упрочнения белитовых коллоидных структур приняты рабочими гипотезами для эффективного обеспечения технологии линейно-поточного дорожного строительства и долговечной эксплуатации дорог, при постоянном действии транспортных и климатических нагрузок.

- снижения затрат на строительство дорожных одежд с монолитными основаниями при одновременном повышении их долговечности, в условиях современного транспортного движения;

- обоснование и разработка составов и технологии строительства дорожных одежд из жестких дорожных бетонов на основе белитовых цементов на основе использования много тоннажных техногенных минеральных отходов промышленности (далее ТМО) и вторичного использования асфальтового лома.

**Методы исследования** современные технологии строительства дорожных одежд с использованием неорганических вяжущих (цементы, шлаковые, зольные, щламовые и др. вяжущие) предусматривают применение следующих механизированных работ: смесители для приготовления дорожных смесей, транспортирование и укладка смесей на дорожное полотно, уплотнение материалов смеси путем прессования катками или вибропрессами укладчика до требуемой плотности слоя дорожной одежды. Затем осуществляются работы по уходу, для исключения испарения влаги из уложенного слоя и протекания гидратации и твердения монолитного слоя. В лабораторных условиях все указанные технологии соблюдены для получения качественного материала. По качеству полученных белитовых укатываемых бетонов оценивается оптимальность технологических режимов строительства.

Все сметные расчеты были проведены в программном комплексе ABC-4 на примере, а/б Калбатау – Усть – Каменогорск которые были презентованы на техническом совете в Казавтожоле.

А расчеты экономии при эксплуатации на 50 лет проведены с помощью «Рекомендации по расчету экономических эффектов от строительства, реконструкции, ремонта и содержания автомобильных дорог на макро и микро экономическом уровне Р РК 218-139-2017. Утвержден и введен в действие приказом Комитета автомобильных дорог Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан».

**Границы исследования: географические** – в пределах Республики Казахстан.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретическое обоснование строительства долговечных автомобильных дорог из дорожных бетонов, полученных на основе белитовых цементов и вяжущих;

- результаты экспериментальных исследований и обследований опытных участков автодорог, построенных с применением дорожных шлако-, шламо- и золобетонов на основе белитовых цементов и вяжущих;

- результаты экспериментальных исследований технологии строительства дорожных одежд из самовосстанавливающегося дорожного бетона на основе медленнотвердеющих белитовых цементов.

**Практическая значимость.** Использование наноструктурированного дорожного бетона и асфальт-минерального бетона на основе белитовых цементов, порошков и вяжущих из техногенных минеральных отходов промышленности, в качестве материалов оснований и покрытий (со слоем износа) решает проблему трещиностойкости, повышает прочность и долговечность дорожной конструкции до 50 лет и более, что соответствует мировым стандартам. При этом снижается стоимость строительства и затраты на эксплуатацию в 2-3 раза и потребность в дорогостоящем цементе, битума и каменных материалах, улучшает экологическую обстановку. Повышаются темпы строительства бетонных покрытий со слоем износа и асфальтобетонных покрытий с бетонными основаниями, что позволяет более полно реализовать возможности медленнотвердеющих цементов.

**Реализация результатов исследований** осуществлена в виде нормативно-технических документов, разработанных коллективами авторов с участием соискателя:

1. Рекомендации по применению дорожных одежд из укатываемых бетонов на основе безобжиговых вяжущих при строительстве автомобильных дорог и ивпп аэродромов» Р. РК 218-314-2017. МИИР РК КАД.КазНИИиПИ«Дортанс». Астана, 20017.С 36.

2. СТ РК 981 Технические условия «Вяжущие шлаковые для дорожного строительства».

3. Проектирование автомобильной дороги «Обход Петропавловска», с использованием золошлакового вяжущего на основе золы гидроудаления Петропавловской ТЭЦ

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается методологической базой исследований, основанной на фундаментальных теориях и положительными результатами применения дорожных бетонов на основе белитовых цементов, с подтверждением данных результатами обследования и испытания опытных участков. Новизна защищена патентами РК: №3419, № 3607, № 3913, №4110, № 4871, №6701. Соискатель награжден золотой медалью Всемирной организации интеллектуальной собственности «WIPO AWARD FOR BEST YOUNG INVENTOR ASTANA»

**Апробация практических результатов.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции, 22 апреля 2014г. «Безопасные дороги», (Москва, МСД, 2014), Международной конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве» (Казахстанская государственная академия строительства и архитектуры КАЗГАСА, Алматы, 2016), Международной научно-практической конференции в г.Бишкек «Безопасные автомобильные дороги» (2019г. Бишкек МСД), 8-й международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития», посвященная 80-летию Р.А. Кабашева и 20-летию КазАДИ» (Алматы 2019), 78-й международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, подсекции «Изыскания и проектирование дорог» (МАДИ, Москва 2020).

Результаты работы были представлены на международные конкурсы; соискатель награжден золотой медалью Всемирной организации интеллектуальной собственности «WIPO AWARD FOR BEST YOUNG INVENTOR ASTANA»

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 12 работ, в том числе с участием автора издано 3 нормативно-технических документов и получено 6 патентов Республики Казахстан.

**Структура и объем.** Диссертация состоит из введения, 5 разделов, общих выводов и списка использованных источников. Основной текст диссертации изложен на 115 страницах, включает 28 рисунка, 18 таблиц, список использованных источников, включающий 83 наименования и 3 приложений объемом 40 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первом разделе «Актуальность повышения технико - эксплуатационного состояния автомобильных дорог Казахстана» рассматривается актуальность темы, основные проблемы строительства, сырьевая база для реконструкции дорог и их описание.

**Выводы по первому разделу.**

1. В настоящее время в республике большое внимание уделяется строительству и ремонту автомобильных дорог. Ежегодно строится и ремонтируется более двух тысяч дорог, но, несмотря на это, дорожные покрытия и основания продолжают разрушаться, так как прочность применяемых материалов и соответственно конструкции дорожных одежд не выдерживают современный поток движения скоростных и большегрузных автомобилей. Необходимо проектировать автомобильные дороги, особенно республиканского и международного значения, многослойными с использованием в конструкциях монолитных материалов.

2. Долговечность автомобильных дорог во многом определяется качеством материалов, используемых при их сооружении. Необходим новый подход к оценке пригодности материалов для конструирования дорожной одежды с учетом их противостояния многократным динамическим, вибрационным и температурно-климатическим нагрузкам. В Казахстане имеются огромные ресурсы дорожно-строительных материалов из техногенных отходов промышленности (шлаки, золы, шламы и т.д.). Некоторые отходы обладают скрытой гидравлической активностью. При взаимодействии с активизаторами (известь, цементная пыль и т.д.) возникают гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, которые являются основными структурообразующими звеньями в материале. Вяжущие на основе отходов используются при строительстве и реконструкции дорог для укрепления материалов дорожных одежд, а их поведение в бетонах недостаточно изучено.

3. Приоритеты необходимо отдавать укрепленным материалам, на основе медленнотвердеющих цементов из техногенных отходов промышленности, имеющих коагуляционно-кристаллизационные структуры, обеспечивающие самозалечивание деструкций, возникающих в процессе эксплуатации дорожных конструкций, и нейтрализацию отрицательного влияния остаточных деформаций, появляющихся в слоях дорожной одежды.

Во втором разделе **«Теоретические предпосылки и экспериментальные исследования по применению белитовых шлаковых цементов в укатанных бетонах для дорожного строительства»**. Приготовление белитовых шлаковых цементов осуществляли, аналогичным путем производства портландцементов; совместного помола клинкера и добавок, только вместо клинкера использовали фосфорный гранулированный шлак, химический состав которого отличается от алитового портландцемента (С3S более 65%) и относится к белитовому составу, с содержанием двухкальциевого силиката (С2S более 85%), в качестве активизирующей добавки использовали среднещелочную цементную пыль.

### **Выводы по второму разделу.**

1. Шлаковые белитовые вяжущие в жестких прессованных смесях (для технологии укатываемых бетонов) обладает способностью твердеть как при положительных, так и при низких и отрицательных температурах до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

2. Низкие положительные и отрицательные температуры еще более замедляют процесс твердения медленно твердеющих белитовых шлаковых вяжущих. При этом, в условиях 5-й дорожно-климатической зоны, характерных большим количеством переходов через 0 С, на момент оттаивания создается значительный резерв негидратированного вяжущего, который, с учетом углубления процесса гидратации при низких температурах, колеблется в пределах 60-90% от количества цемента. При гидратации указанного резерва обеспечивается не только «самозалечивание» повреждений, но и набор прочности с превышением конечной прочности нормального твердения на 15-25%.

3. Свойства исследуемого шлакового белитового вяжущего свидетельствуют о возможности и целесообразности его использования для укатываемых бетонов, из жестких смесей с низкой водопотребностью, с целью круглогодичного строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

4. Дорожные бетоны на основе белитовых вяжущих, по всей вероятности, нет необходимости выдерживать в теплых условиях для набора критической прочности до замораживания, как при применении цементов с обычными сроками схватывания. Замораживать их можно в любой период твердения, прочностные и деформативные свойства белитовых цементов и бетонов на их основе, при этом будут самовосстанавливаться и упрочняться в процессе эксплуатации дороги. Обосновывается это тем, что белитовые вяжущие, на подобие коллоидных структур обладают свойством длительного сохранения тиксотропии – самовосстановления после механического отжатия части капиллярной влаги и реопексии – упрочнения в процессе длительного механического воздействия.

5. При выдерживании цементного камня при низких температурах (пробы 5 – 8), снижение прочности сопровождается вытеснением прочносвязанной воды 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 проб нормального твердения. Это свидетельствует об углублении процессов гидратации зерен цемента и повышении дисперсности новообразований при низких температурах выдерживания, что также повышает прочность цементного камня.

6. Однако для окончательного суждения о возможности использования шлакового белитового вяжущего при строительстве и круглогодичной эксплуатации автомобильных дорог, необходимо провести детальные исследования на укатываемых бетонах.

**В третьем разделе «Экспериментальное обоснование технологии строительства автомобильных дорог из укатываемых наноструктурированных бетонов» изучение прочностных и деформативных свойств белитовых укатываемых бетонов. Исследования и возможности**

применения при круглогодичном строительстве и эксплуатации необходимо изучение влияния низких температур и особенно раннего замораживания на его свойства.

### **Выводы по третьему разделу.**

1. Инновационные укатываемые наноструктурированные бетоны на основе белитовых вяжущих, полученные на основе белитовых вяжущих и цементов являются высокотехнологичными строительными материалами, новизна которых подтверждена рядом патентов на изобретения.

Преимуществами применения укатываемых наноструктурированных бетонов на основе белитовых вяжущих являются следующее:

- ускоряется темп строительства бетонных дорог за счет отсутствия выдержки бетона до набора им расчетной прочности, движение по нанобетонам можно открывать непосредственно после завершения уплотнения;

- при производстве дорожных нано белитовых вяжущих на цементных заводах, производительность заводов повысится более чем в 2 раза, так как исключается из цикла производства цементов – обжиг клинкера, стоимость которого составляет около 70% стоимости цемента;

- широкое применение много тоннажных промышленных техногенных отходов, составляющих более 45 млрд. тонн в стране, является приоритетом по действующему закону «Зеленая экономика» и будет содействовать улучшению экологии окружающей среды. Эффективность строительства и эксплуатации автомобильных дорог, с применением гидравлически активных техногенных отходов промышленности: зола-уноса ТЭС, фосфорные и доменные шлаки, и повторного использования вторичных дорожно-строительных материалов и грунтов позволит повысить качество строительства, снизить себестоимость, улучшить качество окружающей среды и обеспечить экологическую безопасность дорожного строительства.

2. Из опыта Казахстана и США, не исключаются пути повышения долговечности цементобетонных покрытий путем корректировки минералогических составов традиционных портландцементов и увеличения количества гидросиликатов  $C_2S$  – отвечающих за долговечность, что потребует изменения требований к дорожным портландцементом и бетонам на их основе.

3. 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 типов.

4. Широкое апробирование нано технологии и нано материалов предусмотрено в соответствии с научно-технической программой на 2022-2024 г.г., одобренной МИИР РК, возглавляемой Национальной инженерной академией Республики Казахстан «Разработка и внедрение эффективных экологических технологий монолитного строительства дорожно-

транспортный конструкций по мировым стандартам с комплексной утилизацией промышленных техногенных отходов и вторичного сырья».

В четвертом разделе «**Экспериментальные исследования технологии строительства из наноструктурированных укатанных бетонов при низких и отрицательных температурах**» Исследование влияния попеременного замораживания и оттаивания на прочностные свойства укатанных наноструктурированных бетонов. Исследование технологии строительства дорог из укатанных наноструктурированных бетонов по методу не завершенного производства работ и после длительного их замораживания.

### **Выводы по четвертому разделу.**

Исследованные технологические свойства нано структурированных укатанных шлакобетонов при строительстве автомобильных дорог, свидетельствуют о возможности их использования как при положительных температурах-в строительный сезон (раздел 3), так и при низких и отрицательных температурах, что позволяет продлить строительный сезон на 3-5 месяцев. При использовании нано структурированных укатанных шлакобетонов при производстве работ при низких температурах имеются следующие преимущества по сравнению с применением традиционных бетонов на основе портландцементов:

1. Переформовка с полным разрушением структуры, после предварительного длительного выдерживания при отрицательных температурах, оказывает положительное влияние на прочность бетонов, при этом прочность бетонов повышается на 2-28%, в зависимости от количества белитового вяжущего в укатаном бетоне. Следовательно, при устройстве слоев дорожных одежд из укатанных шлакобетонных смесей в зимних условиях, при необходимости в весенний период можно их доуплотнить, с исправлением и отделкой поверхности.

2. Укатанные наноструктурированные бетоны на заполнителях из гравийно-песчаных смесей, на основе белитовых шлаковых вяжущих, при попеременном замораживании-оттаивании, в раннем возрасте в течение 3-х месяцев, не теряют своих свойств для дальнейшего твердения, так как основная часть вяжущего участвует в этом процессе после оттаивания материала при положительных температурах. При этом замораживание оказывает благоприятное действие на процессы гидратации белитового вяжущего, что, в конечном итоге, приводит к залечиванию микроструктуры, образовавшихся частичных разрыхлений в материале и набору прочности без снижения. Это еще раз подтверждает возможность и целесообразность применения укатанных шлакобетонов в зимних условиях строительства.

3. Проведенными исследованиями установлено, что укатанные наноструктурированные бетоны обладают достаточно высокой морозостойкостью, позволяющей использовать такие бетоны в

слоях дорожных одежд на дорогах любой категории. Морозостойкость полученных укатанных шлакобетонов после 200 циклов замораживания-оттаивания составляет больше единицы, что удовлетворяет требованиям для строительства бетонных покрытий со слоем износа из асфальтобетона на автомобильных дорогах 1-2 категории.

4. Повышенная морозостойкость укатанных наноструктурированных бетонов объясняется особенностью структуры затвердевшего шлакового белитового цементного камня (раздел 1).

5. Выдерживание шлакобетонных смесей при нулевой и отрицательных температурах оказывает положительное влияние на прочностные свойства материалов при дальнейшем их уплотнении и твердении в нормальных условиях. Поэтому можно считать установленным, что при устройстве слоев дорожных одежд из укатанных шлакобетонов в зимний период, внезапные приостановки работ по климатическим и другим причинам, не будут оказывать отрицательного влияния на их прочностные свойства.

6. В качестве общего вывода по приведенным результатам исследования следует отметить, что укатанные шлакобетоны на основе белитовых шлаковых цементах можно использовать при строительстве практически круглогодично. При необходимости полного завершения работ в зимний период строительства, с уплотнением бетона катками до требуемой плотности и сдачи объекта в эксплуатацию, необходимо применение противоморозных добавок. Применение 15%-ной водной концентрации NaCl и 10%-ной CaCl<sub>2</sub> практически не оказывают вредного действия на прочность шлакобетонов, что и определяет минимально допустимую температуру шлакобетонных смесей минус 15°С при использовании их в зимних условиях.

В пятом разделе «**Результаты строительства и обследования опытно-экспериментальных участков дорог и технико-экономическое обоснование разработок**» проведены обследование и испытание опытных участков дорог из укатанных наноструктурированных шлакобетонов. Расписаны составы бетонов и методы строительства. Рассчитаны технико-экономическое обоснование строительства дорожных одежд из укатанных наноструктурированных бетонов.

### **Выводы по пятому разделу.**

1. Прочностные и деформативные показатели шлакобетонов соответствуют показателям высокопрочных цементобетонов, наиболее эффективное их использование в нижних слоях двухслойных покрытий из цементобетонов или асфальтобетонов типа ЩМА, при этом нарезка ложных температурных швов на них обязательна. Результаты испытаний кернов, отобранных с шлакобетонного основания после 15-ти летней эксплуатации дороги показали, что нарастание прочности шлакобетона продолжается и достигло прочности на сжатие 48,8 МПа, а при изгибе – 8,6 МПа, что свидетельствует о возможности получения бетонных покрытий, аналогичных

высокопрочным цементобетонным. При использовании в основаниях асфальтового гранулята более 50% и белитового шлакового вяжущего с полимерной добавкой «Полидор» температурные швы не нарезаются, так как асфальтоминеральный укатанный бетон сохраняет упруго-вязкие свойства асфальтобетона.

2. При сравнении сметной стоимости строительства традиционных конструкции дорожных одежд и конструкции дорожных одежд из укатанных наноструктурированных бетонов на основе белитовых цементов мы получаем экономию от 28,74% до 42,14%, а при содержании и эксплуатации дорог в течение 50 лет экономия затрат составляет от 100,84% до 121,73%.

## Список публикаций

1. B.Asmatulayev, R.Asmatulayev, N.Asmatulayev, Use of self-recovering slowly-hardening concrete to longevity of highways // DS ART 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 832. - UK 2020 г. 012019. - pp. 2-13.
2. B.Asmatulayev, R.Asmatulayev, N.Asmatulayev, Construction of durable roads from rolled concrete based on belite slag cement and binders // International Journal of GEOMATE. - Japan 2023 г. Vol.24 Issue 104. - pp. 27-35.
3. Асмагулаев Н.Б., Перспективы переработки и применения нефтесодержащих и битумосодержащих материалов при строительстве автомобильных дорог // «Нефть и газ» ғылыми журналы. – Алматы 2021 г. - №6 (126). - С.113-127.
4. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Н.Б., Амирханов Ж.А., Бессонов Д.В., Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь // Патент №3419. - Астана 2018г.
5. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Н.Б., Амирханов Ж.А., Бессонов Д.В., Комплексная полимерная дисперсно-армирующая добавка // Патент №3607. - Астана 2018г.
6. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Бессонов Д.В., Шардинов Ш.А., Мурадов Х.Я., Конструкция дорожного полотна автомобильной и железной дороги и ее сопряжение с береговой опорой моста // Патент №3913. - Астана 2019г.
7. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Мазгутов Р.А., Чумаченко В.И., Езмахунов Р.Р., Аманкосов Ж.А., Конструкция дорожной одежды на основе наномодифицированного бетона // Патент №4110. - Астана 2019г.
8. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Бессонов Д.В., Исламов В.А., Амирханов Ж.А., «Способ строительства дороги с использованием фрезерованного асфальтового гранулята (Варианты)» Патент РК № 4871 на полезную модель от 21.04.2020 Бюл. № 16 // Патент №3607. - Астана 2018г.
9. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Бессонов Р.А., Чумаченко В.И., Исламов В.А., Наноструктурирующий минеральный порошок и наноструктурированный асфальтобетон // Патент №2021/0271.2. - Астана 2019г.
10. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Повышение долговечности дорожных одежд путем использования длительно упрочняющихся белитовых цементов и вторичного сырья // Научно-технический журнал Автомобильные дороги и мосты. – Минск 2021г. - № 2 (28). - С. 61-73
11. Асмагулаев Б.А., Асмагулаев Р.Б., Асмагулаев Н.Б., Применение Наноструктурированных шлакоминеральных бетонов при строительстве автомобильных дорог // Журнал Наука и Техника в дорожной отрасли – Москва 2022г. - №1. - С. 29-37

12. Асматулаев Б.А., Асматулаев Р.Б., Асматулаев Н.Б., Перспективы использования наномодифицированных укатываемых бетонов для продления дорожно-строительного сезона // Проектирование автомобильных дорог – Москва 2020г. - №78. - С. 75-88