

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.855.3 + 551.585.5(574)

ПШЕМБАЕВ
Мереке Кудайбергенович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОДЕРЖАНИЯ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА
(на примере Республики Казахстан)**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Минск 2022

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете Научный консультант	КОВАЛЕВ Ярослав Никитич – доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник образования Республики Беларусь профессор кафедры «Автомобильные дороги» учреждения образования Белорусский национальный технический университет
Официальные оппоненты:	КАРИМОВ Бури Бачабекович – доктор технических наук, профессор, руководитель Секретариата Межправительственного совета дорожников (МСД), г. Москва ЛЕВИЦКИЙ Иван Адамович. доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, профессор кафедры технологии стекла и керамики учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные узлы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»
Оппонирующая организация	Акционерное общество «Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт», г. Алматы

Защита состоится 18.03.2022 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корпус 1, ауд. 202, телефон ученого секретаря (+37517) 293-96-73, e-mail: kovshar-36@tut.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук

С.Н. Ковшар

© Пшембаев М.К., 2022
© Белорусский национальный
технический университет, 2022

ВВЕДЕНИЕ

Технический уровень современных автомобильных дорог во многом определяется совершенством их дорожных одежд с покрытием высокого качества. Такими покрытиями в настоящее время являются цементобетонные, которые вследствие их долговечности все шире применяются во многих странах.

Начато активное строительство таких дорог и в Республике Казахстан, которое реализуется поэтапно по апробированному алгоритму. Технологи совершенствуют составы тяжелых дорожных бетонов путем использования разнообразных материалов, введения в них различных добавок или активации отдельных компонентов. Конструкторы совершенствуют расчеты конструктивов бетонных покрытий с позиции термодинамики их работы в составе дорожной одежды. Все указанные методологические приемы применяются на стадии проектирования и строительства бетонных покрытий. По этим направлениям выполнено большое число исследований, разработаны многочисленные нормативные документы: ГОСТы, ТУ, ведомственные Рекомендации и Инструкции. Традиционно, при исчерпании прочностного ресурса бетонных покрытий, определяемого критическим пределом степени разрушения структуры материала покрытия, свойства бетонных плит восстанавливают путем капитального ремонта или заменяют новыми в период реконструкции дороги. Одновременно с этим в недостаточной мере решена проблема сохранения бетонных покрытий в межремонтный период, т.е. в процессе их эксплуатации в различных (региональных) погодноклиматических условиях. Систематизированные (теоретические и экспериментальные) исследования, посвященные проблеме содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием, эксплуатируемых в условиях резко континентального климата, характеризующегося диапазоном температур от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$ и более, отсутствуют. Имеются лишь фрагментарные прикладные исследования общего характера, рассматриваемые в составе комплекса вопросов по содержанию автомобильных дорог в целом.

Анализ литературы показывает, что проблема защиты поверхности дорожных бетонных покрытий от воздействия погодноклиматических факторов не решена. Между тем развивающиеся при этом процессы приводят первоначально к интенсивному коррозионному микроразрушению поверхностного слоя покрытий (образованию микротрещин, его износу, проявлению явления «шелушения»), с последующим развитием макроразрушений структуры бетона в объеме конструкционного слоя бетонного покрытия (образование значительных температурных трещин, местных разрушений покрытия, перерастающих в явление «ямочности» и т. п.)

В настоящей работе впервые сделана попытка теоретического и экспериментально-расчетного решения проблемы содержания не всей автомобильной дороги в целом, а только отдельного элемента дорожной одежды – бетонного покрытия. При этом такие покрытия позиционируются как самостоятельный объект исследования при воздействии на него эксплуатационных факторов внешней среды. Главной практической целью настоящего исследования является защита бетонных покрытий в межремонтном периоде их содержания, что позволяет повысить их эксплуатационную надежность и долговечность.

В работе сконцентрировано внимание на то обстоятельство, что наибольшую эксплуатационную нагрузку, вызывающую постепенное изменения, приводящие к разрушению структуры бетонных дорожных покрытий, испытывает поверхностный слой бетона. Поэтому в данном исследовании задача по защите поверхностного слоя бетонных покрытий выделена как моноцентрированная и первоочередная. Для решения этой задачи необходим анализ условий работы тонкого поверхностного слоя: его температурного режима и вызываемого его изменениями температурно-напряженного состояния.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с государственными программными документами и постановлениями Правительства Республики Казахстан.

При проведении исследований автор опирался на научные положения докторов технических наук, профессоров: Н.Н. Иванова, В.Ф. Бабкова, А.К. Бирули, А.П. Васильева, М.В. Немчинова, З.В. Ушакова, Я.Н. Ковалева, О.А. Красикова, В.П. Носова, Б.Б. Каримова, В.Н. Яромко, И.И. Леоновича и др. (в области, касающейся эксплуатации автомобильных дорог). В работе учитывались исследования, непосредственно относящиеся к дорожным бетонным покрытиям (С.В. Шестоперов, А.Н. Защепин, А.М. Шейнин, Ф.М. Иванов, Л.И. Горецкий и др.), включая работы, выполненные в БелдорНИИ, в ведущей дорожной организации бывшего СССР – СоюздорНИИ, а также в МАДИ.

Вместе с тем, как уже отмечалось, до настоящего времени отсутствует комплексное исследование содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата, присущего Казахстану – стране с большой территорией, разнообразным географическим расположением и рельефом местности районов. В этой связи значительную актуальность представляет обоснование более эффективных методов и материалов для защиты таких покрытий от коррозионных разрушений с целью повышения их эксплуатационной надежности и долговечности.

В качестве исходной позиции при решении данной проблемы был принят известный принцип «вечных дорог», согласно которому основ-

ные конструктивные элементы дорожной одежды остаются длительными (расчетный) срок постоянными, а защищающие их элементы (поверхностный слой) для выполнения своего функционального назначения периодически обновляются (по мере снижения ресурса).

Принятая исходная позиция предопределила общее структурное построение работы в целом.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Диссертационное исследование выполнялось в соответствии со следующими государственными программными документами:

1. Нурлы Жол – путь в будущее: Послание Президента РК – Лидера Нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана, г. Астана, 11 ноября 2014 года // Казахстанская правда от 12.11.2014, № 221 (27842);

2. об утверждении Государственной программы инфраструктурного развития «Нурлы жол» на 2015-2019 годы и внесении дополнения в Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ»: Указ Президента РК от 6 апреля 2015 года, № 1030 // Казахстанская правда от 09.04.2015, № 64 (27940);

3. о Государственной программе развития и интеграции инфраструктуры транспортной системы Республики Казахстан до 2020 года и внесении дополнения в Указ Президента РК от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ»: Указ Президента РК от 13 января 2014 года, № 725 // Казахстанская правда от 28.01.2014, № 18 (27639);

4. об утверждении Стратегии развития акционерного общества «Национальная компания «КазАвтоЖол» на 2013-2022 годы: постановление Правительства Республики Казахстан от 26 декабря 2013 года, № 1409 // Казахстанская правда от 18.02.2014, № 33 (27654);

5. об утверждении Стратегического плана Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан на 2017-2021 годы: приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 29 декабря 2016 года, № 887.

Цель и задачи исследования

Цель исследований. Разработка Концепции долговременной эксплуатации бетонных конструкций дорожных покрытий в период их содержания в условиях резко континентального климата Республики Казахстан.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработаны принципы новой Концепции по содержанию бетонных покрытий автомобильных дорог, включающие:

- разработку усовершенствованного дорожно-климатического районирования территории Казахстана, учитывающего особенности природных и природно-климатических условий в каждом административном районе;

- метод и математические зависимости для расчета экстремальных температур бетонных покрытий для равнинной и горной местности Казахстана, позволившие оперативно и с высокой степенью достоверности определять эти параметры для учета в системе мероприятий по уходу за покрытиями дорог;

- систему способов и мероприятий по их реализации по предотвращению перегрева бетонных покрытий в летний период года и переохлаждению зимой;

- метод и математические зависимости для расчета параметров температурно-напряженного состояния бетонных покрытий в поверхностном слое с целью определения условий образования и превентивного предотвращения процесса развития в нем микротрещин, катализирующих процесс деструкции бетона;

- новые составы и технологии применения химических реагентов для защиты поверхностного слоя бетонных покрытий от температурных и коррозионных разрушений, а также минимизация явления скользкости в период образования гололеда.

- осуществление производственного внедрения результатов исследований и оценку их эффективности.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем.

1. Предложена и обоснована результатами диссертационного исследования новая Концепция содержания бетонных покрытий, базирующаяся на новых принципиальных подходах к решению проблемы повышения их эксплуатационной надежности и долговечности, обеспечивающая увеличение периода межремонтных циклов и срока эксплуатации дорог.

2. Принципиальные изменения в методах подхода к решению означенной проблемы, которые в совокупности образуют предложенную Концепцию, включают:

- принцип первоочередности оценки свойств, состояния структуры и деструктивных изменений в поверхностном (на глубину 4...6 см) слое бетона дорожных покрытий под воздействием агрессивных факторов эксплуатационной среды и механических транспортных нагрузок;

- принцип взаимосвязи первичных микронарушений в бетоне поверхностного слоя с постоянно углубляющимся процессом его деструкции,

катализатором которого являются градиенты температур как летнего, так и (особенно) зимнего и переходных периодов (осень-зима-весна) года;

- принцип учета климатических особенностей Республики Казахстан путем предложенного районирования ее территории;

- принцип взаимосвязи уровня минусовых и положительных температур поверхностного слоя бетонного покрытия, характерных для территорий с резко континентальным климатом, с термонапряженным состоянием и температурным трещинообразованием в структуре бетона, что позволяет определить уровень критических градиентов температур с целью предотвращения трещинообразования;

- принцип предваряющего, упреждающего ухода за бетонным покрытием дорог в постпостроечном, эксплуатационном периоде, базирующемся на применении разработанных в диссертационном исследовании комплексных пропиточных химических веществ, способствующих предотвращению коррозионной и морозной деструкции и ликвидации (кольматации) образовавшихся нарушений структуры бетона.

3. В обоснование предложенной Концепции:

- разработан метод и получены математические зависимости для определения максимальной летней температуры бетонных покрытий для равнинной и горной местности с уточнением коэффициента теплоотдачи (α), учитывающего степень нагревания поверхностного слоя при движении воздуха над дорожным покрытием, что позволяет повысить достоверность расчета указанных параметров и прогнозировать уровень термонапряженного состояния покрытия;

- установлены корреляционные зависимости между температурой воздуха в летний период эксплуатации и температурой бетонного покрытия, что позволяет учитывать эти особенности при реализации мероприятий, предотвращающих перегрев покрытий при одновременной их защите от коррозионных разрушений;

- установлено, что эффективным способом понижения опасности перегрева бетонных покрытий в летний период является устройство на них искусственной шероховатости определенного уровня, что изменяет теплообмен между покрытием и воздушной средой и снижает температуру нагрева покрытий;

- разработан метод и математические зависимости для расчета скорости охлаждения бетонных покрытий в холодный период года, что позволяет прогнозировать уровень термонапряженного состояния верхнего слоя бетона и образование в его поверхностном слое температурных трещин и явления шелушения;

- разработан алгоритм и компьютерная программа PARUS для расчета температурно-напряженного состояния поверхностного слоя дорожного

бетонного покрытия, вызывающего в нем появление микротрещин. Определено, что опасность возникновения микротрещин снижается с увеличении класса бетона. Это подтверждает эффективность устройства поверхностного слоя из модифицированного высокопрочного бетона как при строительстве новых бетонных покрытий, так и при их восстановлении на эксплуатируемых участках дорог;

- получены результаты исследований (с использованием программы PARUS) по определению допустимого изменения температуры бетонного покрытия, вызываемого так называемым «термическим ударом», который проявляется при таянии льда под влиянием противогололедных реагентов. Установлено, что микроразрушение бетона происходит в слое бетонного покрытия автомобильных дорог вблизи его поверхности. Толщина этого слоя не превышает 4-6 мм, что позволяет оптимизировать превентивные мероприятия по снижению разрушающих последствий этого явления;

- разработана новая методика дорожно-климатического районирования (патент РК на полезную модель № 3130) территории Казахстана на основе оперативной оценки погодных условий с учетом природно-климатических параметров ландшафта в каждом конкретном административном районе республики. Это явилось основой для разработки комплексного погодно-климатического паспорта дорог Республики Казахстан с бетонным покрытием, необходимого для их рационального эксплуатационного содержания.

4. Разработаны новый высокоэффективный защитный пропиточный состав против коррозионных разрушений бетонных покрытий («Строп-М», патент РК № 31690), а также комплексный гидрофобизирующий, уплотняющий структуру бетона состав, содержащий нанокремнезем и гидрофобизатор (патент РК на полезную модель № 3737), и технологии их применения, реализованные в практике работ по содержанию бетонных покрытий.

Положения, выносимые на защиту:

- новая Концепция содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием в условиях резко континентального климата;

- новая модель изотермо-климатического районирования территории Казахстана с привязкой дорожной сети к ее административному делению;

- метод расчета и математический аппарат для расчета экстремальных температур бетонных покрытий для равнинной и горной местности Казахстана;

- метод и математический аппарат для расчета температурно-напряженного состояния поверхностного слоя бетонных покрытий, вызывающего образование в нем микротрещин;
- физико-химические основы защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений и скользкости с помощью новых пропиточных составов («Строп-М», а также комбинированного состава, содержащего нанокремнезем и гидрофобизатор);
- результаты производственной апробации разработки.

Личный вклад соискателя ученой степени Постановка проблемы, формулировка задач исследования, поиск теоретических и методических путей их решения, научные и практические рекомендации, их анализ, основные выводы осуществлены автором лично. В обсуждении результатов исследования принимал участие научный консультант, доктор технических наук, профессор Я.Н. Ковалев.

Апробация результатов диссертации Материалы диссертационной работы представлены и обсуждены в виде докладов и сообщений на следующих научных собраниях: конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского национального технического университета (БНТУ) в 2016-2019 гг.; на Международных научно-технических конференциях, посвященных памяти бывших Председателей Межправительственного совета дорожников А.П. Насонова и А.В. Минина (2, 4, 9 июня 2015 г., г. Алматы, г. Бишкек, г. Турсун-заде; Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессоров И.Н. Ахвердова и С.С. Атаева, «Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров», 9-10 июня 2016 г., г. Минск; на Международной научно-технической конференции «Инновации в дорожном строительстве» 27-28 декабря 2016 г., г. Минск; на Международной научно-технической конференции «Автомобильные дороги: безопасность и надежность», 24-25 ноября 2016 г., г. Минск; на Международной научно-технической конференции «Цементобетонные покрытия дорог. Состояние, проблемы, перспективы», 28-29 мая 2018 г., г. Минск; на Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения И.И. Леоновича, «Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ», г. Минск, 2019 г.

Опубликованность результатов диссертации По теме диссертационной работы опубликовано 30 научных работ. Основные результаты исследований представлены в 1 монографии и 19 статьях в журналах, которые входят в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Республики Казахстан и Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, а также в патентах.

Структура и объем диссертации Диссертационная работа включает: введение, 6 глав основного текста с изложением результатов теоретических и экспериментальных исследований, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем – 259 страниц, содержит 34 рисунка, 34 таблицы, 10 приложений. Библиографический список включает 143 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности научного направления диссертационного исследования.

В первой главе диссертации рассмотрена существующая ситуация по проблематике строительства и содержания бетонных покрытий автомобильных дорог. Анализ литературы показал, что большинство исследований в мировой практике строительства бетонных дорог в основном относится к этапам проектирования и технологии ведения строительных работ. К числу специалистов, внесших большой вклад в изучение проблематики технологии бетона и строительных работ при устройстве дорожных покрытий можно отнести: Левицкого Е.Ф., Чернигова В.Л., Зацепина А.Н., Марышева Б.С., Свиридова Н.В., Евланова С.Ф., Шейнина А.М., Эккеля С.В., Яромко В.Н., Радовского Б.С. и многих других. Вместе с тем, очевиден недостаток исследований, отражающих проблематику эксплуатации дорожных бетонных покрытий в послестроительный период. Особенно в условиях резко континентального климата, характеризующегося высокими температурами летнего периода и глубокими минусовыми температурами зимой, что имеет место для обширной территории Республики Казахстан. Как следствие, уже через 2 (два) годовых сезона эксплуатации имеют место проявления деструкции бетона верхнего слоя дорожных покрытий.

Традиционно установились представления, что содержание автомобильных дорог – это комплекс мероприятий по круглогодичному уходу за ними, включая дорожное полотно, придорожные сооружения и полосу отвода. Это, например, детально отражено в разработанных в Беларуси технических нормативных правовых актах. В этом случае объектом содержания являются все элементы дороги. Для этого разработан также перечень работ, в ходе которых устраняются выявленные недостатки при содержании автомобильной дороги.

В соответствии с предлагаемой в диссертационном исследовании новой Концепцией содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием впервые с целью решения задач по повышению их долговечности и надежности в период эксплуатации рассматривается проблема рацио-

нального содержания не автомобильной дороги в целом, а в первую очередь отдельного элемента ее дорожной одежды – бетонного покрытия. При этом основная направленность исследований отражает развитие деструктивных процессов и меры по их минимизации в достаточно тонком верхнем (рабочем) слое бетонного покрытия, который непосредственно воспринимает воздействие погодно-климатических факторов и механических (транспортных) нагрузок. Исходя из этих посылок сформулированы цель и задачи исследований, приведенные в общей характеристике работы и направленные на разработку предлагаемой Концепции по содержанию бетонных покрытий дорог повышенной эксплуатационной надежности и долговечности.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки по разработке положений наиболее рационального варианта содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в процессе эксплуатации. Содержание (как сумма технологических процессов) – это самостоятельный предмет исследования, где акцентируется внимание, прежде всего, на условиях работы их поверхностного слоя. Исходя из этого в методологическом плане проблема рассматривается с учетом следующих исходных положений, определяющих алгоритм дальнейших решений: конструктивно бетонное дорожное покрытие условно можно представить в виде 2-х слоев – поверхностного защитного слоя и основного несущего слоя. При этом поверхностный слой должен рассматриваться, как неотделимая часть от основного (несущего) слоя, так и как самостоятельный элемент, устраиваемый на уже готовом покрытии. Для решения задачи по оценке эксплуатационных воздействий в общем плане бетонное покрытие следует представить как открытую термодинамическую систему, воспринимающую энергию факторов внешней среды и трансформирующую энергию от этих факторов на образование структурных разрушений бетонного покрытия (рисунок 1).

При эксплуатации дорожное бетонное покрытие испытывает активное влияние трех групп факторов внешней среды. Они действуют как сверху, так и со стороны нижних слоев дорожной одежды и земляного полотна, инициируя химическое, механическое и физико-механическое разрушение цементобетонных покрытий.



Рисунок 1. – Схема трансформации энергии факторов внешней среды в цементобетонном покрытии и образования в нем необратимых деформаций.

Факторы первой группы внешней среды включают погодноклиматические (природные) воздействия и влияние антигололедных реагентов (АГР) в переходные периоды года. К ним относят: суммарную солнечную радиацию J_c , Вт/м²; атмосферные осадки, W_0 , мм/год; влажность воздуха W_B , %; температуру воздуха t_B , °С; скорость движения воздуха над покрытием V_B , м/с.

Ко второй группе факторов внешней среды относят транспортные (механические) воздействия:

- статические вертикальные усилия P_c , Н (или удельные нагрузки p , МПа);

- горизонтальные касательные силы, возникающие вследствие разгона (замедления движения) транспортных средств F , Н (или удельные воздействия f , МПа).

Третью группу энергетических факторов внешней среды составляют воздействия, обусловленные температурно-влажностным режимом земляного полотна и уровнем залегания грунтовых вод (здесь не рассматриваются).

Основными энергетическими погодноклиматическими факторами, разрушающими поверхностный слой покрытия, являются экстремальные температуры (T_{max} , T_{min}), и их градиенты, действующие на него в расчетные периоды года (июль, январь), а также их предельные изменения, вызывающие критическую скорость охлаждения (осенью, весной и зимой во время оттепелей).

Интенсивное разрушение основного конструктивного слоя покрытия начинается после разрушения защитного поверхностного слоя, т. е. после разрушения его микроструктуры. Именно с этого этапа начинаются необратимые макроразрушения структуры несущей плиты бетона, приводящие к более крупным деформациям, снижающим транспортно-эксплуатационные характеристики дорожных бетонных покрытий. Таким образом, сохранение прочности поверхностного слоя определяет долговременную прочность несущего конструктивного слоя бетонного покрытия.

Основными проявлениями деформациями поверхностного слоя бетонного покрытия являются температурные микротрещины, постепенно «развивающиеся» до макронарушений структуры, шелушение и износ, вызванные климатическим воздействием температурных градиентов охлаждения (особенно при циклических воздействиях охлаждения – нагревания) и силовой динамикой движущегося транспорта (особенно – грузового).

Согласно модели рисунка 1, энергия факторов внешней среды (E_{BC}) может быть представлена в общем виде как сумма энергий, передаваемых

транспортными нагрузками ($E_{ТН}$) и энергии, обусловленной воздействием погоднo-климатических факторов ($E_{ПКФ}$) с учетом энергии, вызывающей коррозию бетона от антигололедных химических реагентов ($E_{АГР}$),

$$E_{ВС} = E_{ТН} + E_{ПКФ} + E_{АГР}, \quad (1)$$

где

$$E_{ПКФ} = E_{ГДС} + E_{ФХП} + E_{ГТВ}, \quad (2)$$

$$E_{ТН} = E_{МНСУ}, \quad (3)$$

с определениями, в соответствии с приведенными на рисунке 1.

Наиболее общими физико-химическими процессами, возникающими в поверхностном слое бетонах покрытий при воздействии погоднo-климатических факторов, являются сорбционные и диффузионные процессы на поверхности и в объеме бетона, а также нагревание или охлаждение покрытия с различной скоростью под действием изменений температуры наружного воздуха.

Изучение вопросов по защите бетонов от коррозии показало целесообразность введения в поверхностный слой дорожных бетонных защитных новых ингредиентов (например, на основе золя SiO_2). Применение разработанных далее технологий химико-механической защиты бетонных покрытий обеспечивает повышение его долговечности за счет эффекта коагуляции пор поверхностного слоя бетона и роста его непроницаемости.

Во избежание перегрева и температурного коробления плит бетонных покрытий в летний период необходимо проводить разработанный далее в диссертации комплекс работ по их рациональному содержанию:

- прогнозировать периоды максимальной (критической) интенсивности солнечной радиации;
- прогнозировать образование максимальных и минимальных температур бетонных покрытий;
- увеличивать способность поверхности бетонных покрытий отражать солнечную (тепловую) энергию для снижения температуры их нагрева путем специальной обработки поверхности бетонного покрытия - придания шероховатости определенного в диссертации уровня.

Во избежание образования микротрещин в поверхностном слое бетонного покрытия (в холодный период) рекомендуется осуществлять следующие мероприятия, входящие в предложенный в диссертации комплекс работ по содержанию бетонных покрытий:

- прогнозировать вероятность появления «термического удара» в период борьбы с гололедом на дорогах;

- прогнозировать скорость охлаждения бетонных покрытий, влияющих на образование микротрещин в поверхностном слое;

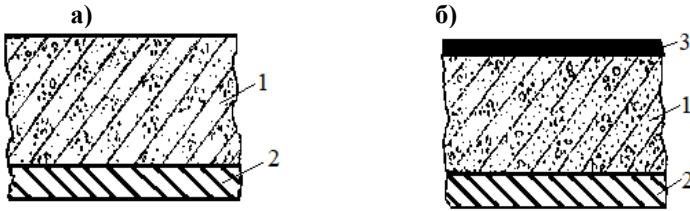
- превентивно применять разработанные в диссертации пропиточные композиции для защиты поверхностного слоя от коррозионных разрушений и для предупреждения скользкости. Это направление перспективно в связи с появлением новых пропиточных материалов, но пока в недостаточной мере применяется в качестве защитного средства против поверхностной коррозии бетонных дорожных и аэродромных покрытий. Решение такой задачи предлагается в настоящем диссертационном исследовании.

Исходя из предпосылки, что конструкция дорожной одежды с бетонным покрытием заведомо обеспечивает его надежную эксплуатацию по уровню воспринимаемых механических (транспортных) нагрузок, основными причинами первоначальных нарушений структуры и прогрессирующего разрушения поверхностного слоя бетонных покрытий являются погодно-климатические факторы внешней среды. В этой связи поставлена и решена в исследовании задача по разработке теоретических и практических основ алгоритма прогнозирования критических значений этих факторов, организации и реализации оперативно-превентивных мероприятий по защите бетонных покрытий в условиях резко континентального климата Казахстана.

Для разработки теоретических положений по оценке уровня воздействия различных факторов внешней среды на деформирование поверхности бетонных покрытий, предложено выделять из массива бетонного покрытия его внешний, наиболее интенсивно эксплуатируемый поверхностный слой, как предмет для анализа его «термодинамической работы». Для этого случая нами предложено отнести изучение поверхностных деформаций, их прогнозирование и устранение к узкопрофильному научному направлению – разработке долговременной эксплуатации бетонных конструкций специального назначения, в частности, бетонных дорожных покрытий в период их содержания.

Предложено и обосновано в диссертации введение в практику перманентной защиты бетонных покрытий от коррозионного разрушения новыми гидрофобными веществами, а также коллоидными составами (например, на основе золя SiO_2), либо тонких дисперсий из кварцевых наноразмерных частиц. Их применение по разработанным в настоящей диссертации технологиям химико-механической защиты бетонных покрытий обеспечивает требуемую кольматацию пор поверхностного слоя, что уплотняет его структуру, повышает непроницаемость бетона и дает существенный эффект в повышении его долговечности (рисунк 2).

В главе 3 отражены результаты исследований закономерностей изменения температурного режима дорожных бетонных покрытий в процессе эксплуатации в разных климатических условиях.



а – покрытия с высокопрочным бетоном в растянутой зоне;
 б – то же, с пропиткой верхней зоны полимером (или гидрофобным составом);
 1 – слой обычного бетона; 2 – слой высокопрочного бетона в растянутой зоне;
 3 – пропитка бетона химическими реагентами или полимерными композициями

Рисунок 2. - Конструкции дорожных бетонных покрытий с использованием высокопрочного бетона и защитного поверхностного слоя

На этом основании выполнен анализ и расчет параметров напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя при температурном воздействии на него. При этом исходили из посыла, что бетонные покрытия можно представить как одно- и многослойные пластины, между которыми отсутствуют термические контактные сопротивления теплопроводности.

В диссертации изложены численные методы для инженерных расчетов повышенной температуры бетонных покрытий для равнинной и горной местности Казахстана. В летний период температурный режим бетонных покрытий определяется следующими факторами: солнечной радиацией, температурой и скоростью движения наружного воздуха над покрытием.

С целью уточнения значения суммарного расчетного коэффициента теплоотдачи (α_c) были проведены исследования, позволившие определить зависимость его среднего значения от температуры воздуха при его ламинарном движении над покрытием (рисунок 3).

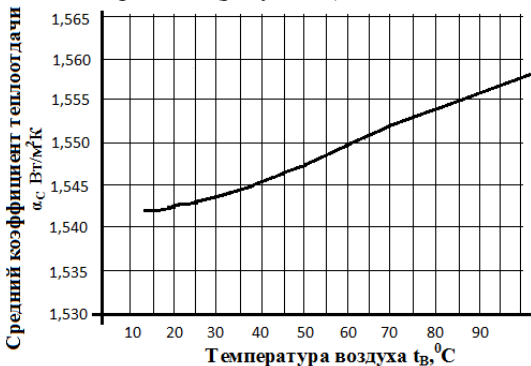


Рисунок 3. - Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи (α_c) от температуры (t_b) при движении воздуха над бетонным покрытием

Для определения средних коэффициентов теплоотдачи (α_c) для бетонных покрытий рассмотрена задача, аналогичная задаче теплообмена при обтекании воздухом пластины.

Расчеты показали: в диапазоне температур воздуха от 10°C до 30°C значения α_c находятся в пределах 1,540–1,542 Вт/м²К, а при температуре от 60°C до 90°C – в пределах 1,550–1,555 Вт/м²К.

Для горной местности температура нагревания бетонного покрытия в летний период (июль) будет несколько снижена за счет интенсивного их охлаждения в условиях более высокого расположения дорог над уровнем моря. В этом случае предложено определять расчетную температуру бетонного покрытия для горной местности по формуле:

$$t_{ПГ} = t_{ПР} - 0,002H, \quad ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где $t_{ПГ}$ – расчетная температура поверхности бетонного покрытия для горной местности, °C;

$t_{ПР}$ – расчетная температура поверхности бетонного покрытия для равнинной местности, определяемая по известной методике для асфальтобетонных покрытий, °C;

0,002 – средний поправочный коэффициент (°C/м), учитывающий высоту расположения дороги (по данным Б.Б. Каримова и К.М. Ахмедова);

H – высота объекта над уровнем моря, м.

С целью оценки влияния погодно-климатических условий северных регионов Казахстана на бетонные покрытия эксплуатируемых дорог и проектировании новых проведены экспериментальные исследования температурного режима дорожной одежды и земляного полотна на участке дороги Астана – Бурабай с помощью оригинальных температурных датчиков. Результаты экспериментов показали, что между температурами воздуха и поверхностью, а также центром сечения и нижней поверхностью цементобетонного покрытия имеются соответствующие линейные корреляционные зависимости. На рисунке 4 графически отражена зависимость температуры поверхности бетонного покрытия от температуры воздуха (T_b).

Исследования показали, что для эффективного управления процессом содержания бетонных дорог необходимо учитывать степень их нагрева и охлаждения. Перегрев может привести к короблению бетонных плит и нарушению ровности дорожного покрытия. В условиях резко континентального климата Казахстана это особенно актуально. Нами установлено, что уровнем нагрева поверхности бетонных покрытий можно управлять с помо-

щью рационального устройства на них искусственной шероховатости в процессе строительства или путем специальных обработок в

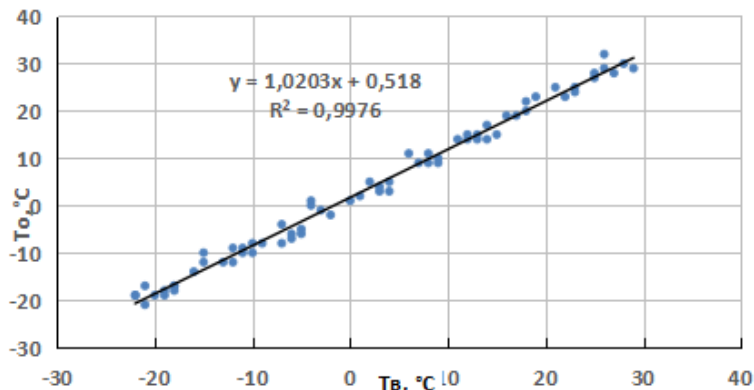


Рисунок 4. – Корреляционная зависимость между температурой воздуха (T_v) и температурой поверхности бетонного покрытия (T_0)

процессе эксплуатации.

В контексте комплекса исследований температурного режима бетонных покрытий была рассмотрена возможность использования метода расчета скорости их охлаждения в холодный период года (по аналогии с известным методом для асфальтобетонных покрытий).

При возведении дорог, на протяжении всего срока их эксплуатации, а также во время ремонта дорожные одежды подвергаются: механическим воздействиям транспортных средств, термическим воздействиям от сезонного изменения температуры, изгибу за счет неравномерных осадков основания, периодическим его замерзаниям и оттаиваниям. Среди перечисленных факторов особое место занимает сезонное изменение температуры - годовое и суточное. Температурный режим покрытий (градиент температуры по его вертикальному сечению) зависит от скорости и изменений температуры воздуха, а также от активности солнечной радиации.

В диссертации выявлена зависимость напряженно-деформированного состояния бетонных дорожных покрытий от температурных воздействий. Для исследования напряженного состояния цементобетонных покрытий автомобильных дорог использован конечно-разностный метод, реализованный в компьютерной программе «PARUS» (свидетельство о регистрации компьютерной программы №8 БНТУ, год регистрации 2016). В проведенных исследованиях был выдвинут и подтвержден тезис: если параметры температурного режима превысят предельные значения, полученные расчетом, то в поверхностном слое появятся микротрещины.

Исследования показали, что изменения температуры по толщине покрытия имеют нелинейный характер. При коротком времени прогрева (до 45 минут) температура резко уменьшается: вблизи точки нижней поверхности – практически до нуля.

Для оценки напряженного состояния выполнен расчет и получены эквивалентные напряжения по программе «PARUS» для бетона класса $C^{35}/_{45}$ при повышении температуры верхней поверхности покрытия и прогреве продолжительностью 15 минут. На рисунке 5 приведены графики распределения эквивалентных напряжений по толщине покрытия при различных температурах его поверхности.

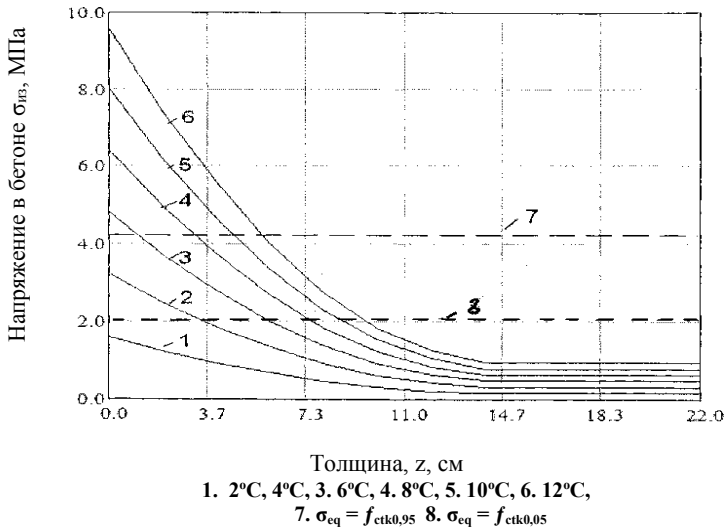


Рисунок 5. – Изменение эквивалентных напряжений по толщине покрытия из бетона класса $C^{35}/_{45}$ при разных температурах его верхней поверхности

Характер распределения эквивалентных напряжений по толщине покрытия также имеет нелинейный характер. В связи с коротким временем прогрева в нижнем слое покрытия температура близка к начальной температуре бетона. Значение эквивалентного напряжения σ_{eq} прямо пропорционально повышению температуры покрытия во всех его слоях.

Эквивалентное напряжение при оценке прочности бетона сравнивается с пределом прочности бетона на растяжение $f_{ctk0,95\%}$. При повышении температуры на 2°C и 4°C кривые не пересекают предельную линию, соответствующую $f_{ctk0,95\%}$. Следовательно, при таких условиях микротрещины на поверхности покрытия не образуются. Кривые, соответствующие воз-

растанию температуры на 6°C; 8°C; 10°C и 12°C, уже пересекают предельную линию, что указывает на возможность образования микротрещин на поверхности покрытия. При этом повышение, температуры на 6°C может привести к образованию микротрещин на глубину до 1 см, а на 12 °C - увеличивает глубину проникновения микротрещин до 6 см.

С использованием разработанной на основе диссертационного исследования программы «PARUS» выполнены расчеты дорожного покрытия и установлена толщина подверженного повреждению поверхностного слоя в зависимости от градиента температуры для различных классов бетона. Выявлено, что глубина поврежденного слоя покрытия (микротрещины) существенно зависит от градиента температур и класса бетона. Для низких классов бетона она достигает 9 см; для высоких классов (\geq С 30/37) эта величина меньше 4-5 см. Одновременно установлены значения градиентов температур, при которых возможно образование микротрещин (таблица 1) и глубина их проникновения в зависимости от прочности (класса) бетона.

Таблица 1 - Предельные значения градиентов температур начала образования микротрещин, °C/м

h ₀ , см	Класс бетона							
	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/45
1,0	30,75	43,05	47,83	49,91	51,25	59,64	59,64	62,43
2,0	41,00	49,88	54,67	58,83	61,50	70,29	70,73	71,75
3,0	49,54	56,72	61,50	69,05	71,75	80,05	80,98	81,07
4,0	58,08	64,94	71,75	79,84	82,00	94,00	94,06	94,60
5,0	68,33	76,31	82,00	94,92	98,15	110,45	110,45	110,45
6,0	79,72	90,75	87,20	113,25	114,96	-	-	-

Полученные результаты расчета деформаций дорожного покрытия от температурных воздействий позволяют прогнозировать образование микротрещин в верхнем слое бетона и оценить вероятную толщину повреждаемого слоя.

Это позволяет прогнозировать рациональные условия эксплуатации бетонных покрытий в переходные периоды года. Вышеозначенное сравнение расчетных данных с опытными подтверждено достоверностью разработанного метода и результатами расчетов.

В работе рассмотрен также важный вопрос появления напряжений в поверхностном слое дорожных бетонных покрытий при «термическом ударе» - локальном изменении температуры. Это явление имеет практическую значимость для оценки прочности и долговечности цементобетонного покрытия.

В исследованиях определено допустимое изменение температуры бетонного покрытия при «термическом ударе», вызываемом при таянии льда под влиянием противогололедного реагента (на примере NaCl).

Установлено, что образование микротрещин в бетоне вследствие «термического удара» происходит в его поверхностном слое глубиной до 4-6 мм.

Для подтверждения этого явления в процессе эксплуатации необходимо:

- не допускать образования ледяного слоя большой толщины (более 20 мм), что требует оперативного выполнения работ по очистке дорог от снежного покрова и льда;

- использовать комбинированные, предложенные в диссертации методы ухода за бетонными покрытиями в зимний период.

В четвертой главе рассмотрены вопросы климатических особенностей Казахстана с целью их целенаправленного учета при содержании бетонных покрытий автомобильных дорог. Общепризнано, что наиболее важным для изучения физико-географических и климатических условий для строительства и эксплуатации дорог является учет дорожно-климатического районирования. Однако в нормах и правилах для проектирования строительных объектов учтена лишь первичная метеорологическая информация применительно к ограждающим конструкциям. Специальные рекомендации по ее использованию для дорог отсутствуют. В связи со значительным разнообразием рельефа и существенным различием климатических зон Казахстана, их дорожное районирование в формате нанесения температурных изолиний носит формальный характер и не учитывает всех климатических параметров, необходимых для рационального содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в годовом цикле. Это относится и к другим погодно-климатическим параметрам. Поэтому целесообразно при составлении дорожно-климатического районирования территории Казахстана для содержания бетонных покрытий использовать новый подход. В настоящее время в нормативной литературе Казахстана (строительная климатология СП РК 2.04-01-2017) приведен большой массив информации, включающий климатические параметры холодного и теплого периодов года. Однако приведенной информации, используемой на практике в качестве прогнозных данных при обосновании проектов дорог, не достаточно для принятия оперативных решений инженерных задач при содержании бетонных покрытий.

Учитывая, что эксплуатация бетонных покрытий реализуется в условиях резко-континентального климата, бетон в поверхностном слое дорожных покрытий (2-3 см) должен обладать:

- высокой плотностью и водонепроницаемостью;

- коррозионной устойчивостью при воздействии антигололедных химических реагентов и вызываемых ими «термических ударов»;

- достаточной деформационной способностью при значительных градиентах температур внешней среды (стойкостью к образованию температурных микротрещин);

- износоустойчивостью при воздействии истирающих нагрузок колес тяжелого транспорта;

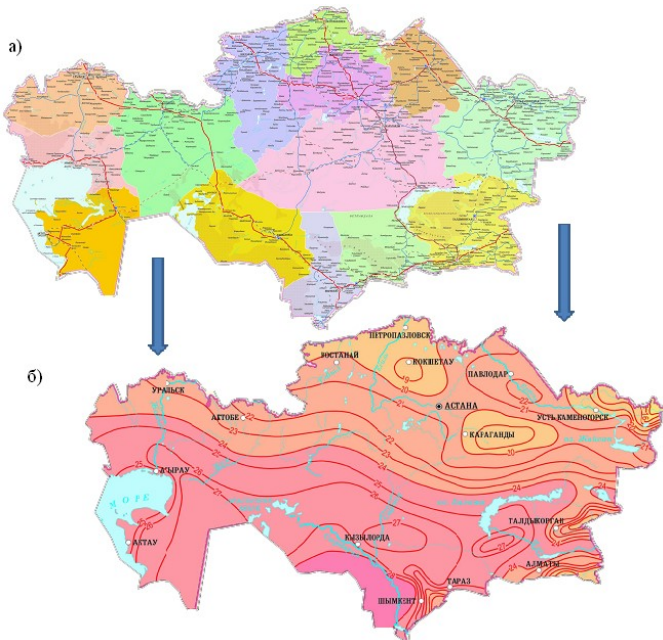
- достаточным сцеплением с автомобильными шинами, определяемым коэффициентом сцепления колеса с поверхностью дороги.

Для выполнения этих требований было необходимо разработать целенаправленное районирование территории Казахстана с учетом изменяющегося уровня воздействия агрессивных погодно-климатических факторов на бетонное покрытие в разных регионах страны.

На основе изложенного был разработан новый метод для создания многоцелевого дорожно-климатического районирования Казахстана. (патент № 3130). Сущность метода заключается в картографическом равномасштабном совмещении существующих административных районов Казахстана с существующими природными зонами республики и их природно-климатическими параметрами. При этом на схеме административных районов показаны автомобильные дороги I-III технической категории с бетонным покрытием. В качестве примера, на рисунке 6 представлены: соответственно карта административных областей Республики Казахстан с основной сетью автомобильных дорог на прозрачной основе и совмещаемая с ней карта температуры воздуха за июль.

При указанном совмещении в каждом конкретном административном районе все климатические параметры различных природных зон, входящих в границы этого района, учитываются более полно и четко наблюдаются визуально. Появляется возможность более точного оперативного прогнозирования погодно-климатических ситуаций (аналогично прогнозу погоды), что является актуальным при содержании не только бетонных покрытий, но и всех участков дорог в целом, как инженерных сооружений. Такой подход к дорожно-климатическому районированию территории в конкретном регионе является более эффективным для учета быстроменяющейся погодно-климатической обстановки при содержании автомобильных дорог. При этом открывается возможность оперативного учета на основе информации, получаемой с помощью GPS-технологий непосредственно из центрального метеоцентра.

Предложенный способ учета параметров дорожного районирования являлся основой для создания комплексного технического паспорта дорог, входящих в границы конкретных административных районов Республики Казахстан.



а) карта административных областей Республики Казахстан с основной сетью автомобильных дорог (на прозрачной основе)
 б) карта температуры воздуха за июль
 Рисунок 6. – Схема наложения карт

Применительно к изложенному в постановочном аспекте рассмотрены общие закономерности влияния погодно-климатических факторов на материал поверхностного слоя бетонных покрытий при наличии или отсутствии на них защитных гидрофобных слоев.

В пятой главе рассмотрен комплекс вопросов, освещающих одну из важных сторон зимнего содержания бетонных покрытий автомобильных дорог – устранение их скользкости. Актуальность проблемы зимнего содержания автомобильных дорог обусловлена тем, что среди основных направлений дорожной политики Казахстана предусматривается развитие международных транспортных коридоров и их интеграция в международную систему автомобильных дорог. Такая ситуация приводит к повышению в зимний период требований к основным транспортно-эксплуатационным показателям бетонных дорог: обеспечению расчетной скорости, непрерывности и безопасности движения.

Анализ метеорологических данных позволил составить ориентировочный прогноз появления гололеда на автомобильных дорогах с учетом

времени года и ранее приведенного районирования территории Республики Казахстан (таблица 2).

Таблица 2. – Ориентировочный прогноз возможности появления гололеда на территории Казахстана

Территория	Месяцы вероятного появления гололеда							
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Большая часть центрального (равнинного) Казахстана	+	+	+	+	+	+	+	
Север Казахстана	+	+				+		
Запад Казахстана	+	+	+					
Южные районы Казахстана			+	+				

В постановочном аспекте рассмотрен вопрос появления гололеда на дорогах в различных районах Казахстана, а также существующие технические средства диагностики его образования. Рассмотрены предложения по определению участков дорог, потенциально опасных при гололеде. Установлено, что в случае использования некоторых традиционных антигололедных реагентов в поверхностном слое дороги возможно образование значительных температурных градиентов (термический удар). При этом возможно замерзание воды в мелких порах поверхностного слоя бетона, приводящее к существенному повышению его льдистости. В результате, как следствие, в объеме бетона возникают температурные напряжения, приводящие к деформациям структуры поверхностного слоя и его ускоренному разрушению (шелушению). Развитию поверхностных разрушений бетонных покрытий способствует также истирающее и динамическое воздействие колесных нагрузок тяжелого грузового транспорта.

Предложены два различных подхода к реализации управления системой диагностики гололеда на бетонных покрытиях и принятия мероприятий по борьбе с ним. В первом подходе доминирует единый «управляющий» ситуацией диспетчерский пункт республики по оценке погодноклиматической ситуации и принятия антигололедных мероприятий на определенных участках дорог. Второй подход возлагает ответственность в основном на местные дорожно-эксплуатационные управления (ДЭУ) в районах ожидаемого (наступившего) гололеда (экстренное ограничение скоростей движения, на опасных участках, применение антигололедных реагентов). В обоих подходах используются дорожно-измерительные станции (ДИС) и современные системы материала.

Установлено, что введение комбинированной антигололедной добавки (смеси хлоридов натрия и кальция) в структуру поверхностного слоя бетона (на стадии его устройства) придает ему антигололедные свойства. При этом необходимо применять реагенты с плавящей способностью, учитывающей погодноклиматические особенности ландшафтных зон Казахстана. Это имеет большое значение, поскольку, именно плавящая способность определяет основной показатель противогололедного вещества – эффективность плавления льда и нормы расхода материала.

Как уже отмечалось тепловая энергия, необходимая для растворения химических реагентов (например, NaCl) и плавления льда, отбирается из окружающей среды, в том числе из поверхностного слоя бетонного покрытия автомобильной дороги, что и вызывает резкое снижение его температуры (в некоторых случаях импульсно-резкое). В результате, как следствие, образуются температурные напряжения, приводящие к деформациям структуры поверхностного слоя бетона и его ускоренному разрушению (шелушению).

Для оперативного использования информации о появлении гололеда создана эффективная система предупреждения об этом опасном явлении. Такая информация используется для оповещения водителей транспортных средств на опасных участках дорог, а также принятия необходимых мер дорожно-эксплуатационными службами для обработки покрытий антигололедными реагентами. Современный уровень телекоммуникаций, компьютерной техники и связи позволяет решать указанную проблему. В диссертации предложены пути ее реализации с учетом выделения опасных мест. К ним относят:

- участки дорог с горизонтальными кривыми минимальных радиусов;
- участки дорог высоких технических категорий без устроенных виражей на горизонтальных кривых минимальных радиусов;
- на спусках и подъемах дорог с крутыми уклонами;
- на участках дорог с высокими насыпями без наличия ограждений;
- на участках дорог с искусственными сооружениями.

В практике зимнего содержания автомобильных дорог для борьбы с зимней скользкостью применяют фрикционный, химический, физико-химический и комбинированные методы. В диссертации рассмотрены особенности их использования и сформулированы рекомендации как по предотвращению скользкости, так и по методам борьбы с этим опасным явлением.

Все мероприятия по борьбе с зимней скользкостью разделены на три группы по их целевой направленности:

- снижение отрицательного воздействия образовавшейся зимней скользкости и повышение коэффициента сцепления колеса с дорогой

путем россыпи по обледеневшему покрытию минеральных фрикционных материалов;

- удаление с покрытия образовавшегося ледяного или снежного слоя с применением химических, механических, тепловых и комбинированных методов;

- предотвращение образования снежно-ледяного слоя или ослабление его сцепления с покрытием, либо путем профилактической обработки покрытия противогололедными химическими веществами, либо введения противогололедных реагентов в состав покрытия, или путем гидрофобизации поверхности дороги.

Ликвидация льда на поверхности покрытия автомобильной дороги путем его плавления с помощью анитогололедных реагентов (АГР) не решает всех проблем, связанных с движением автомобиля. В частности, при движении автомобиля по мокрой дороге после использования АГР снижается коэффициент сцепления колеса с дорожным покрытием. Вязкость раствора полученного при плавлении льда выше вязкости воды, и полученный раствор не удаляется с поверхности дороги, а сглаживает естественный микропрофиль дорожного покрытия, снижая таким образом коэффициент сцепления. Результатами исследований, проведенными в МАДИ, установлено, что при распределении АГР на покрытии дороги с целью предупреждения или борьбы со скользкостью через некоторое время образуется пленка высококонцентрированного вязкого раствора. Эта «пленка» может снизить величину коэффициента сцепления до недопустимого значения. В этой связи в диссертации предложен способ повышения коэффициента сцепления колеса с дорожным покрытием за счет повышения плотности поверхностного слоя бетона нанесением разработанного нами пропиточного состава «Строп-М», который проникает в поры бетона, минимизирует (вплоть до предотвращения) сцепление образующейся наледи с покрытием.

Существенными отличиями предлагаемого способа уплотнения верхнего слоя дороги от других является то, что после нанесения на поверхность цементобетонного покрытия вещества «Строп-М», формируются связки на основе фосфорной кислоты. Последнюю выдерживают до образования высолов на поверхности дороги. Для дальнейшей обработки поверхности используют раствор гидроксида кальция. Это обеспечивает прочное взаимодействие связки с цементным камнем и кольматацию пор в бетоне за счет увеличения количества образующихся труднорастворимых фосфатов кальция в процессе ионообменной реакции между моно- и дизамещенными фосфатами натрия в пропиточном составе и гидроксидом кальция, содержащимся в растворе для обработки. Вещество «Строп-М» вначале вступает во взаимодействие с ионами кальция в составе бетона, а

непрореагировавшая часть в виде высолов накапливается в порах и капиллярах бетона. Затем непрореагировавшие фосфаты натрия вступают во взаимодействие с ионами кальция, содержащимися в растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$, используемом для вторичной обработки. Таким образом создаются прочные связи новообразований в порах бетона с цементным камнем и заполнение пор малорастворимыми фосфатами кальция, что обеспечивает повышение морозостойкости цементобетона в условиях действия агрессивных антигололедных реагентов. Гидрофосфаты кальция имеют белый цвет, что позволяет увеличить светоотражение обработанной поверхности и обеспечить соответствующее снижение температуры бетонных плит от солнечной радиации и уменьшения их теплового деформирования, приводящего к трещинам и разрушениям на дорожном покрытии. Поскольку гидрофосфаты кальция в порах цементобетона прочно связаны с цементным камнем, при многократном замораживании-оттаивании в растворах антигололедных материалов они не разрушаются, обеспечивая тем самым устойчивость эффектов повышения сцепления и светоотражения при действиях знакопеременных температур.

В шестой главе рассмотрены вопросы повышения эксплуатационной надежности и долговечности цементобетонных дорожных покрытий путем предлагаемой защитной модификации поверхностного слоя бетона разработанным составом (патент KZ373), содержащим наночастицы золя кремнезема, а также особенности процесса совместного действия на бетон гидрофобизатора и золя кремнезема (кремнезоля).

Структурообразование в затвердевшем бетоне в присутствии кремнезоля характеризуется тем, что кремнезоль вступает в реакцию с гидроксидом кальция, который образуется в процессе гидратации цемента, повышая тем самым количество гидратированных силикатов типа CSH в твердой фазе бетона.

Установлено, что пуццолановая реакция золя является наиболее интенсивной в течение первых двух недель после пропитки бетона. Тем не менее следует учитывать, что с позиций необходимости защиты стальной арматуры (если она применена в качестве «рабочей») содержание золя в пропиточном составе не должно превышать 7 % – 10 %, так как это обеспечивает устойчивость образующихся гидросиликатов кальция в щелочной среде.

Изменение структуры пор в бетоне рассматривается многими исследователями как главный фактор, характеризующий свойства и прочность бетона. Это изменение находит свое отражение в снижении проницаемости бетона, а также в уменьшении коэффициентов диффузии ионов хлора, содержащегося в антигололедных реагентах. В свою очередь, снижение про-

нищаемости способствует повышению стойкости бетона к воздействию агрессивных сред и повышению его морозостойкости.

Исследование микроструктуры бетона показало, что его состав с оптимальной дозировкой нанодисперсного кремнезема отличается более плотной матрицей цементирующего вещества и особенной морфологией новообразований модифицированного цементного камня, тогда как контрольные образцы характеризовались более рыхлой и дефектной структурой. Образующаяся после пропитки плотная малодефектная структура отличается наличием новообразований, характерных для гидросиликатов кальция, представленных в виде игольчатых кристаллов дополнительно, армирующих цементный камень в бетоне.

Одним из возможных вариантов увеличения сроков эксплуатации бетонных покрытий является их гидрофобизация. При гидрофобизации химический реагент сравнительно глубоко проникает внутрь строительного материала. Хотя при этом пористая структура сохраняется, но бетон приобретает значительные водоотталкивающие свойства.

В диссертации установлено, что повысить степень гидрофобности и прочность бетона можно с помощью комбинированного способа. Так, высокая степень влагостойкости и прочность бетонных покрытий достигнута совместной пропиткой гидрозолеом кремнезема и гидрофобизатором. В этом случае одновременно повышается водонепроницаемость, водостойкость и прочность материала.

С этой целью в диссертации разработан состав для пропитки поверхности бетона (патент KZ 3737), эффективность которого основывается на том, что вторичные гидросиликаты кальция, образующиеся в процессе взаимодействия золя кремнезема и гидроксида кальция, коагулируют поры бетона и упрочняют его поверхностный слой за счет образования дополнительной твердой фазы, родственной первичным гидросиликатам кальция, образующимся при твердении цемента.

В качестве исходных материалов для получения пропиточного состава использовали: ТЭОС – тетраэтоксисилан (ТУ 6-09-3687-79); Софлексил-60 (ТУ 2229-008-42942526-2001) – водный раствор гидратированного метилсиликоната калия с массовой долей основного вещества 58 % – 63 %, рН = 11; Софлексил-защиту (ТУ 222-025-42942526-2000) – раствор олигометилгидросилоксана в органическом растворителе.

Для оценки эффективности и оптимизации пропиточных составов для дорожных покрытий был выполнен комплекс исследований с использованием математического планирования эксперимента. В качестве критериев оценки долговечности цементобетонного покрытия выбраны такие физико-механические свойства бетона, как прочность на сжатие, водопоглощение и истираемость. Прочность бетона на сжатие интегрально характе-

ризует способность бетона противостоять внешней агрессии. В технологии бетона именно этот параметр связывают, например, с деформативными свойствами бетона, его плотностью, проницаемостью для агрессивных флюидов. Водопоглощение бетона прямо связано с его капиллярной пористостью, а, следовательно, с проницаемостью и глубиной пропитки материала уплотняющим раствором. Истираемость же бетона определяет твердость образующегося на поверхности бетона уплотненного слоя и, следовательно, увеличение долговечности покрытия.

Исходный бетон, предназначенный для пропитки, имел следующие физико-механические параметры: прочность на сжатие 45,3 МПа, на изгиб 8,83 МПа, водопоглощение 1,5 %, истираемость 0,133 г/см². Пропиточный состав наносили распылением на поверхность образцов; расход состава составлял 0,2 – 0,3 л/м². Для выявления оптимума пропиточного состава долю гидрофобизатора (влияющий фактор x_1) принимали в долях по массе в пределах от 0 до 1,2, а долю золя кремнезема (влияющий фактор x_2) – от 0 до 0,4.

В процессе эксперимента исследовали не изменение абсолютных величин прочности бетона на сжатие, водопоглощения и истираемости, а относительных (в %), для которых эти характеристики для бетона без пропиточного состава взяты за 100 %. Было получено уравнение регрессии в общем виде:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3)$$

После обработки результатов экспериментов были получены адекватные полиномиальные математические модели второго порядка, описывающие изменение относительной прочности, водопоглощения и истираемости бетона в зависимости от принятых переменных факторов. Полученные модели после исключения незначимых коэффициентов представлены в виде следующих уравнений регрессии:

- для относительной прочности бетона ($f_{отн}$ – относительная прочность):

$$f_{отн} = 114,2 + 1,2 \cdot x_1 + 3,9 \cdot x_2 - 1,1 \cdot x_1^2 - 8,4 \cdot x_2^2 + 0,8 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (4)$$

- для относительного водопоглощения бетона ($W_{отн}$ – относительное водопоглощение):

$$W_{отн} = 40,4 - 23,1 \cdot x_1 - 8,6 \cdot x_2 + 17,5 \cdot x_1^2 + 14,2 \cdot x_2^2 - 4,0 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (5)$$

- для относительной истираемости бетона ($I_{\text{отн}}$ – относительная истираемость):

$$I_{\text{отн}} = 70,7 - 1,4 \cdot x_1 - 16,4 \cdot x_2 + 1,6 \cdot x_1^2 + 7,3 \cdot x_2^2 + 2,7 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (6)$$

отражающие результат в процентах.

Результаты выполненных расчетов и проверки статистической значимости по полученным математическим моделям подтвердили, что приведенные выше уравнения регрессии пригодны для описания этих моделей. Графическая интерпретация полученных результатов, в виде объемных моделей, представлена на рисунках 7-9.

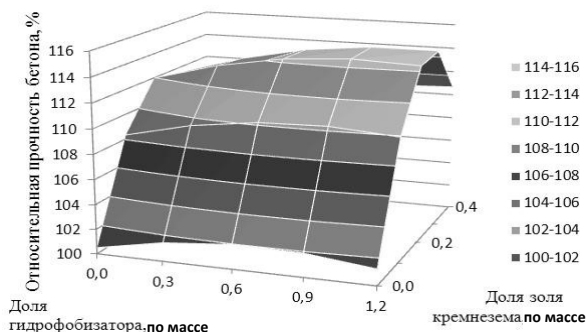


Рисунок 7. – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительную прочность бетона

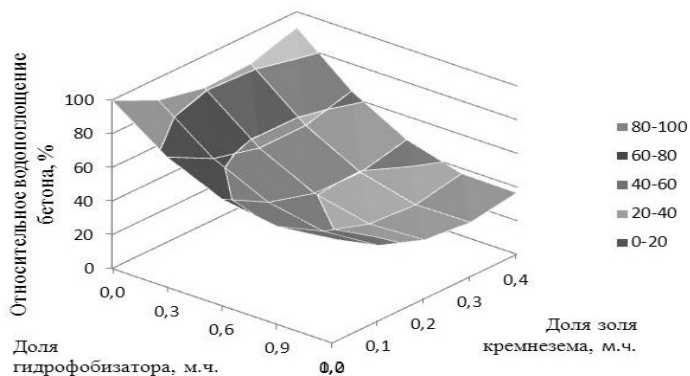


Рисунок 8. – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительное водопоглощение бетона

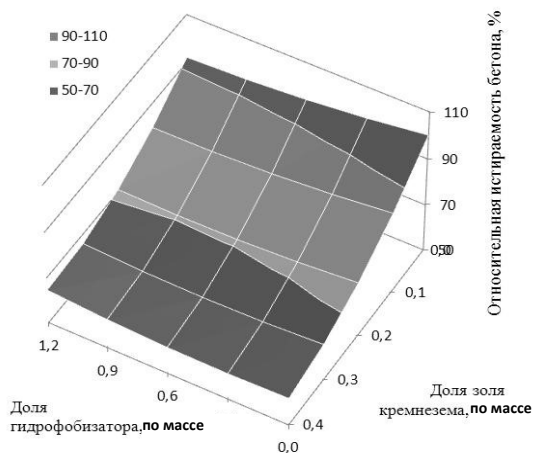


Рисунок 9. – Влияние гидрофобизатора и золя кремнезема на относительную истираемость бетона

В соответствии с уравнением (4) и рисунком 7, на увеличение прочности бетона наибольшее влияние оказывает содержание золя кремнезема (коэффициент b_2 равен 3,9, а $b_{22} - 8,4$). Максимальный прирост прочности бетона достигнут при содержании золя 0,2. С увеличением содержания золя от 0 до 0,2 возрастает количество гидроксида кальция, вступившего в реакцию с высокодисперсным кремнеземом с образованием плотных водонерастворимых минералов, что приводит к росту прочности бетона. При дальнейшем увеличении количества золя возрастает вязкость пропиточного состава, соответственно падает глубина пропитки покрытия, что и обуславливает снижение прочности бетона на сжатие. В то же время влияние гидрофобизатора незначительно: коэффициенты b_1 и b_{11} равны соответственно 1,2 и 1,1), то есть содержание гидрофобизатора на изменение прочности бетона практически не сказывается. В целом, оптимальное содержание гидрофобизатора и золя кремнезема составляют соответственно в долях по массе около 0,6 и 0,2.

Обратная картина наблюдается при оценке влияния компонентов пропиточного состава на водопоглощение бетона (уравнение (5) и рисунок 8). На величину водопоглощения содержание золя кремнезема практически не влияет, и это естественно, поскольку несколько уплотненная поверхностная «корочка» на кинетику проникновения воды существенно влиять не может.

Основное же влияние на снижение водопоглощения оказывает содержание гидрофобизатора.

Снижение истираемости бетона в основном определяется содержанием золя кремнезема, причем чем больше количество кремнезема, тем эффект выше. Влияние же гидрофобизатора сравнительно мало (рисунок 9).

Анализ активного эксперимента, интерпретация полученных адекватных полиномиальных моделей позволили выявить оптимальное соотношение компонентов пропиточного состава для получения максимального эффекта по росту прочности бетона на сжатие и истираемости, а также снижению водопоглощения.

В практике ухода за бетонными покрытиями дорог в процессе эксплуатации применяют различные по своей химической природе вещества на основе полимеров, нефтепродуктов. В сопоставлении с рядом из них (Пронитрат Гидро, Asocret-M30, Asodur-SG2, MasterEmacoS 488) более эффективными оказались разработанные в диссертации составы «Строп-М» и комплексный состав для пропитки поверхности (патент KZ 3737).

Обработка цементобетонных покрытий составом «Строп-М» позволяет снизить капиллярное всасывание применяемых после обработки растворов противогололедных материалов на 60 %, повысить морозостойкость (уменьшить потери массы образцов при морозном шелушении поверхности цементобетона) на 70 %, снизить падение светоотражающей способности покрытия на 75 %.

Производственная апробация результатов исследования (справки, акты, протоколы приведены в диссертации) подтвердила их эффективность, выражающуюся в бездефектном содержании опытных участков, обработанных пропиточным составом «Строп-М».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, опытно-технологические и внедренческие работы, изложенные в диссертации, позволяют представить следующие обобщенные выводы.

1. Разработана новая Концепция содержания автомобильных дорог с бетонными покрытиями, базирующаяся на новых принципиальных подходах к решению проблемы обеспечения их эксплуатационной надежности и долговечности, в совокупности обеспечивающих увеличение периода межремонтных циклов в 1,5 – 2 раза и, соответственно, срок эксплуатации бетонных покрытий дорог до износа и капитального ремонта [1 – 35].

2. Принципиальные изменения в методах подходах к решению означенной проблемы, которые в совокупности образуют предложенную Концепцию, включают:

- принцип первоочередности оценки свойств, состояния структуры и деструктивных изменений в поверхностном (на глубину 4...6 см) слое бетона дорожных покрытий под воздействием агрессивных факторов эксплуатационной среды и механических транспортных нагрузок;

- принцип взаимосвязи первичных микронарушений в бетоне поверхностного слоя с постоянно углубляющимся процессом его деструкции, катализатором которого являются градиенты температур как летнего, так и (особенно) зимнего и переходных периодов (осень-зима-весна) года;

- принцип учета изотермо-климатических особенностей Республики Казахстан путем предложенного районирования ее территории;

- принцип взаимосвязи уровня минусовых и положительных температур поверхностного слоя бетонного покрытия, характерных для территорий с резко континентальным климатом, с термонапряженным состоянием и температурным трещинообразованием в структуре бетона, что позволяет определить уровень критических градиентов температур с целью предотвращения трещинообразования;

- принцип предваряющего, упреждающего ухода за бетонным покрытием дорог в постпостроечном, эксплуатационном периоде, базирующемся на применении разработанных в диссертационном исследовании комплексных пропиточных химических веществ, способствующих предотвращению коррозионной и морозной деструкции и ликвидации (кольматации) образовавшихся нарушений структуры бетона.

В обоснование предложенной Концепции

3. Разработан метод и получены математические зависимости для определения максимальной летней температуры бетонных покрытий для

равнинной и горной местности с уточнением коэффициента теплоотдачи (α), учитывающего степень нагрева поверхностного слоя при движении воздуха над дорожным покрытием, что позволяет повысить достоверность расчета указанных параметров, прогнозировать уровень термонапряженного состояния покрытия и решить проблему сдвигу устойчивости бетонных плит при их температурном деформировании. Обоснованы условия предотвращения перегрева бетонных покрытий автомобильных дорог в летний период; разработан способ снижения опасности и их перегрева путем устройства на них искусственной шероховатости [1, 2, 4, 9, 19, 21, 24, 31].

4. Разработан метод и математические зависимости для расчета скорости охлаждения бетонных покрытий в холодный период года, что позволяет прогнозировать уровень термонапряженного состояния верхнего слоя бетона и образование в его поверхностном слое температурных трещин и явления шелушения. Определены допустимые изменения температуры бетонного покрытия, вызываемого так называемым «термическим ударом», который проявляется при таянии льда под влиянием противогололедных реагентов. Подтверждена исходная гипотеза, что микроразрушение бетона происходит в слое бетонного покрытия автомобильных дорог вблизи его поверхности. Толщина этого слоя не превышает 4-6 мм, что позволяет оптимизировать превентивные мероприятия по снижению разрушающих последствий этого явления [1, 2, 4, 5, 9, 13, 19, 20, 22, 24, 30].

5. Разработаны алгоритм и компьютерная программа PARUS для определения температурно-напряженного состояния поверхностного слоя дорожного бетонного покрытия, вызывающего в нем появление микротрещин. Выявлена взаимосвязь условий возникновения микротрещин с величиной прочности бетона разных классов на осевое растяжение при различных превышениях температуры. При этом диапазон глубины микротрещин для средних и низких классов бетона составил от 1 до 6 см. Установлено, что для более высоких классов современных дорожных бетонов указанные расчетные глубины трещин в поверхностном слое могут быть снижены в 2 раза. Разработан вариант использования программы PARUS, позволяющий прогнозировать образования микротрещин бетонных покрытий и назначать необходимые классы бетона для обеспечения его трещиностойкости [1, 9, 15, 19, 27, 28].

6. Разработан новый метод многоцелевого дорожно-климатического районирования территории Казахстана. Сущность метода заключается в равномасштабном картографическом совмещении (путем наложения) карты существующих административных районов Казахстана (на прозрачной основе) с картами природных зон республики с их климатическими ха-

рачеристиками. При указанном совмещении карт в каждом конкретном административном районе все климатические параметры различных природных зон, входящих в границы этого района, учитываются более полно. Новый способ учета параметров дорожного районирования является основой для создания комплексного технического паспорта дорог, входящих в границы конкретного административного района Республики Казахстан, что обеспечивает эффективное управление ремонтными работами по содержанию бетонных покрытий с оперативным учетом погодноклиматических характеристик регионов территории Казахстана [1, 13, 19, 20, 22, 25, 27, 31, 34].

7. Установлено на основе анализа процессов, протекающих на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости с использованием антигололедных реагентов, содержащих хлориды, в поверхностном слое бетонных покрытий (на глубине 0,5–3,5 см) возникают значительные температурные градиенты (термический удар). В результате провоцируется микротрещинообразование, интенсивно углубляющееся при длительном уходе этими реагентами за бетонным покрытием и, особенно, при циклических изменениях температуры. Для решения этой проблемы разработан и предложен высокоэффективный противогололедный бесхлоридный состав «Строп-М» [1, 3, 6, 7, 8, 10, 16, 17, 23, 26, 29, 33].

8. Обоснована возможность уменьшения пористости поверхностного слоя дорожного бетона путем пропитки его раствором, содержащим соль ортофосфорной кислоты, а также раствором, содержащим гидрофобизатор и золь кремнезема. В качестве гидрофобизатора используются выпускаемые промышленностью соединения, которые образуют на поверхности бетона гидрофобную пленку, препятствующую проникновению воды в бетон. Выявлено, что основным технологическим фактором влияющим на проникновение пропиточного раствора в обрабатываемый бетон, является его вязкость, зависящая от концентрации действующих веществ и которую можно изменять путем использования традиционных поверхностно-активных веществ. Разработаны и апробированы составы и технологические применения пропиточных растворов, состоящих из золя кремнезема и гидрофобизатора, а также состава на основе «Строп-М» [1, 8, 10-12, 14, 15, 18, 33, 35], применение которых позволяет целенаправленно организовать уход за поверхностью бетонных покрытий с целью предотвращения трещинообразования и ликвидации (кольматации) образовавшихся дефектов структуры бетона.

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать:

- для оперативного определения погодных-климатических параметров (критических положительных и отрицательных температур) дорожными проектными и производственными организациями, занимающимися содержанием автомобильных дорог в различные периоды года применительно к территориально-административному делению Республики Казахстан;

- при проектировании, устройстве и организации ухода в период эксплуатации за бетонными дорожными покрытиями на территориях с резко континентальным климатом;

- при прогнозировании и назначении мероприятий по снижению воздействия «термического удара» при содержании дорожных бетонных покрытий в период гололедных явлений;

- для минимизации и предотвращения трещинообразования за счет использования разработанных пропиточных составов СТРОП-М и комбинированный состав для защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений, скользкости и повышения их эксплуатационной надежности и долговечности.

Результаты работы могут быть использованы:

- при разработке Программы и перспективного плана развития автомобильных дорог с бетонным покрытием в Республике Казахстан;

- при совершенствовании норм и работ по содержанию дорожных бетонных покрытий в условиях Республики Казахстан.

Реализация работы.

Результаты исследований применены при разработке нормативных документов в Республике Казахстан, используются в организациях, занимающихся содержанием и текущим ремонтом дорожных бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата Казахстана, что позволяет эффективно применять предложенные рекомендации и обеспечить экономию материалов, энергетических и трудовых затрат. Результаты исследований используются при чтении лекций по дисциплинам «Эксплуатация автомобильных дорог», «Дорожно-строительные материалы и изделия» в БНТУ.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Пшембаев, М. К. Содержание бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата Республики Казахстан / М.К. Пшембаев ; под общ. ред. Я. Н. Ковалева. – Минск : Белорус. нац. техн. ун-т, 2019. – 254 с.

Статьи в рецензируемых научных изданиях

2. Пшембаев, М. К. Расчет полей температур и их градиентов в дорожных бетонных покрытиях / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, В.Д. Акельев // Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2015. – № 4. – С. 54–63.
3. Пшембаев, М.К. Эффективная защита бетонных дорог от солевой коррозии и действия знакопеременных температур / М.К. Пшембаев // ҚазжолҒЗИ Жаршысы. – 2015. – № 1/2. – С. 4–10.
4. Пшембаев, М.К. Особенности температурного режима автомобильной дороги с цементобетонным покрытием в условиях северного района Казахстана / М. К. Пшембаев, Б. Б. Телтаев, Е.А. Суппес // Автомобил. дороги и мосты. – 2016. – № 2. – С. 41–47.
5. Пшембаев, М. К. Напряжения в цементно-бетонном покрытии от термического удара / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, Л.И. Шевчук // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 87–94.
6. Пшембаев, М. К. Процессы, протекающие на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости / М.К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, В. Н. Яглов // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 4. – С. 265–270.
7. Поровая структура дорожного бетона / М.К. Пшембаев, В.В. Гирицкий, Я.Н. Ковалев, В.Н. Яглов, С.С. Будниченко // Наука и техника. – 2016. – Т. 15, № 4. – С. 298–307.
8. Пшембаев, М. К. Физико-химические основы процессов защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий пропиточными составами / М.К. Пшембаев // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 144–152.
9. Пшембаев, М. К. Анализ напряженного состояния поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий при температурном воздействии / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, Л.И. Шевчук // Наука и техника. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 282–288.
10. Пшембаев, М. К. Опытное применение пропиточного состава для цементобетонных покрытий автомобильных дорог / М. К. Пшембаев // Автомобил. дороги и мосты. – 2017. – № 2. – С. 56–59.
11. Пшембаев, М. К. Оптимизация пропиточного состава для защиты бетонных покрытий автомобильных дорог / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 95–99.
12. Пшембаев, М.К. Теоретические предпосылки упрочнения микроструктуры поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий с помощью коллоидного вещества / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 6. – С. 497–501.
13. Пшембаев, М.К. К вопросу о районировании территории административных областей Казахстана по показаниям экстремальных темпера-

тур дорожных бетонных покрытий / М.К. Пшембаев // Автомобил. дороги и мосты. – 2018. – № 2. – С. 44–49.

14. Пшембаев, М. К. Новый способ защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий в условиях Казахстана / М.К. Пшембаев // Автомобил. дороги и мосты. – 2018. – № 2. – С. 90–94.

15. Пшембаев, М. К. Проектирование состава и защиты бетона дорожных покрытий / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, В. В. Бабицкий // Наука и техника в дорож. отрасли. – 2019. – № 1. – С. 28–31.

16. Пшембаев, М. К. Ингибированный противогололедный материал для бетонных дорог / М. К. Пшембаев // ПМУ хабаршысы. Энергетикалық сериясы. – 2018. – № 3. – С. 294–300.

17. Пшембаев, М. К. Образование зимней скользкости на дорогах и механо-химические методы борьбы с ней / М.К. Пшембаев // ПМУ хабаршысы. Энергетикалық сериясы. – 2018. – № 3. – С. 273–294.

18. Пшембаев, М.К. К вопросу выбора эффективного пропиточного состава для защиты дорожных бетонных покрытий от коррозионных разрушений / М.К. Пшембаев // ПМУ хабаршысы. Энергетикалық сериясы. – 2019. – № 1. – С. 332–346.

19. Пшембаев, М.К. Новая концепция (парадигма) содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием / М.К. Пшембаев // Хабаршысы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің. – 2019. – № 2. – С. 161–165.

Материалы конференций

20. Ковалев, Я. Н. Проблема содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата Казахстана / Я. Н. Ковалев, М. К. Пшембаев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13 Междунар. науч.-техн. конф. (68 науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ) : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2015. – Т. 3. – С. 87.

21. Пшембаев, М. К. Защита поверхностных слоев бетонных покрытий – как процесс восстановления термодинамического равновесия в их структуре / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев // Сборник докладов международных научно-практических конференций, посвященных памяти бывших Председателей Межправительственного совета дорожников А.П. Насонова и А.В. Минина. – Алматы ; Бишкек ; Турсунзаде, 2015. – С. 121–124.

22. Пшембаев, М. К. Особенности эксплуатационного режима работы дорожных цементобетонных покрытий в условиях Казахстана / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14 Междунар. науч.-техн. конф. (69 науч.-техн. конф.

проф.-преподават. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ) : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко. – Минск, 2016. – Т. 3. – С. 47.

23. Пшембаев, М. К. Способы получения наноразмерных модификаторов для дорожного бетона / М. К. Пшембаев // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, Минск, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т, Ин-т жилища – НИПТИС, Союз строителей Респ. Беларусь ; редкол.: Э.И. Батяновский, В.В. Бабицкий. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 170–174.

24. Пшембаев, М. К. Предотвращение перегрева цементобетонных покрытий / М. К. Пшембаев // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновации в дорожном строительстве», 27–28 дек. 2016 г. ; редкол.: – Минск, 2017. – С. 207–216.

25. Пшембаев, М. К. Распределение температуры на участке с цементобетонным покрытием автомобильной дороги «Астана-Бурабай» / М.К. Пшембаев, Б. Б. Телтаев, Е. Д. Супес // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновации в дорожном строительстве», 27–28 дек. 2016 г. – Минск, 2017. – С. 231–239.

26. Физико-химические основы процессов защиты поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий с помощью пропиточных составов / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, В. Н. Яглов, В. В. Гирицкий // Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги: безопасность и надежность» : сб. докл., 24–25 нояб. 2016 г. / БелдорНИИ. – Минск, 2016. – С. 60–63.

27. Пшембаев, М. К. Новая парадигма содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15 Междунар. науч.-техн. конф. (70 науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ) : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А.С. Калиниченко. – Минск, 2017. – Т. 3. – С. 72.

28. Пшембаев, М. К. Теоретические предпосылки рационального содержания бетонных покрытий автомобильных дорог / М. К. Пшембаев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16 Междунар. науч.-техн. конф. (71 науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. работников, докторантов и аспирантов БНТУ) : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С.В. Харитончик, А.М. Маляревич, А.С. Калиниченко. – Минск, 2018. – Т. 3. – С. 32.

29. Пшембаев, М. К. Защита дорожных покрытий от коррозионных

разрушений / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев. Международная специализированная выставка «Автосервис, механика, автокомпоненты – 2018», конференция «Инновационные технологии и образование для дорожной отрасли» 30 октября 2018: Минск. – 10 с.

30. Пшембаев, М. К. Проектирование пропиточного состава для защиты бетонных покрытий автомобильных дорог / М. К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, В. В. Бабицкий // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XXI Междунар. науч.-метод. семинара, 25–26 окт. 2018 г. : в 2 ч. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест, 2018. – Ч. 2. – С. 104–107.

Нормативные документы

31. Рекомендации по рациональным составам для цементобетонных покрытий автомобильных дорог с учетом климатических условий Казахстана : Р РК 218-127-2016 : утв. приказом Пред. Ком. автомобил. дорог М-ва по инвестициям и развитию Респ. Казахстан, 26 февр. 2016 г., № 19 / исполн.: Б. Б. Телтаев, Б. А. Асмагулаев, Д.К. Саканов, М.К. Пшембаев, Р. Б. Асмагулаев, М. Т. Турсумуратов, Т. Р. Искандаров, Н. М. Борщова, К. С. Ержанов, Н. В. Борщов, Т. А. Жусупов. – Астана, 2016. – 34 с.

32. Рекомендации по обработке цементобетонных покрытий специальным пропиточно-защитным составом «Строп-М» : Р РК 218-157-2019 : утв. приказом Пред. Ком. автомобил. дорог М-ва индустрии и инфраструктур развития Респ. Казахстан, 26 марта 2019 г., № 49 / исполн.: М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, Б.Б. Телтаев, Г.Г. Измайлова, А.О. Ельшибаев, А.В. Бусел, И. И. Ремизов. – Астана, 2019. – 44 с.

Патенты на изобретения

33. Способ защиты покрытий цементобетонных дорог : пат. KZ 31690 / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, Б. Б. Телтаев. – Опубл. 15.12.2016.

34. Способ физико-географического районирования территории : полез. модель KZ 3130 / М. К. Пшембаев, Я. Н. Ковалев, Д. К. Саканов. – Опубл. 17.09.2018.

35. Состав для пропитки поверхности бетона : полез. модель KZ 3737 / М. К. Пшембаев. – Опубл. 07.03.2019.

РЭЗІЮМЭ

Пшэмбаева Мерэке Кудайбергеновіча

Навуковыя асновы ўтрымання бетонных пакрыццяў аўтамабільных дарог ва ўмовах рэзка кантынентальнага клімату (на прыкладзе Рэспублікі Казахстан)

Ключавыя словы: утрыманне дарожных бетонных пакрыццяў, тэмпературны рэжым, тэмпературна-напружаны стан, дарожна-кліматычнае раяніраванне, каразійныя разбурэнні, слізкасць, абарона паверхневага слою, насычальныя саставы.

Мэта працы: распрацоўка Канцэпцыі доўгатэрміновай эксплуатацыі бетонных канструкцый дарожных пакрыццяў у перыяд іх утрымання ва ўмовах рэзка кантынентальнага клімату Рэспублікі Казахстан.

Прапанавана і абгрунтавана дысертацыйнымі даследаваннямі новая Канцэпцыя ўтрымання аўтамабільных дарог з бетонным пакрыццём ва ўмовах рэзка кантынентальнага клімату, які забяспечвае 1,5 – 2-кратны рост перыяду міжрамонтных цыклаў і адпавяданы рост эксплуатацыйнай надзейнасці і даўгавечнасці бетонных пакрыццяў.

Распрацавана рашэнне азначанай праблемы на прыцыпова новых падыходах, якія засноўваюцца на вылучэнні з масіва бетоннага пакрыцця дарог яго верхняга (кантактнага) пласта бетону на глыбіню да 60 - 90 мм, які выпрацоўвае найвялікае па ступені дэструктыўнага ўздзеяння ўплыву натуральных кліматычных фактараў (градыенты тэмператур ад -30°C $+40^{\circ}\text{C}$ і больш, хуткасць ветру і інш.), а таксама каразійныя і лакальна-тэрмічныя ўздзеянні хімічных антыгалаледных рэагентаў і механічных (транспартных) нагрузак.

Распрацавана ізатэрма-кліматычнае раянаванне тэрыторыі Рэспублікі Казахстан, а таксама метады і матэматычныя залежнасці для разліку беспечнага ўзроўню тэрманпружанага стану павярхоўнага пласта бетону, які мінімізуе і выключае першасныя парушэнні яго структуры, а таксама тэрэтычныя асновы і тэхналогіі прымянення прапанаваных і запатэнтаваных антыгалаледнага складу «Строп- і ахоўнага комплекснага ўшчыльняючага структуру бетону гелекремнезем утрымоўвальнага складу для прафілактычнага сыходу за бетоннымі пакрыццямі дарог, што павялічвае перыяд бездэфектнай эксплуатацыі пакрыццяў, эксплуатацыйную надзейнасць і даўгавечнасць аўтамабільных дарог.

Вытворчая апрацацыя вынікаў даследаванняў пацвердзіла іх эфектыўнасць.

РЕЗЮМЕ

Пшембаева Мерке Кудайбергеновича

Научные основы содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко континентального климата (на примере Республики Казахстан)

Ключевые слова: содержание дорожных бетонных покрытий, температурный режим, температурно-напряженное состояние, дорожно-климатическое районирование, коррозионные разрушения, скользкость, защита поверхностного слоя, пропиточные составы.

Цель работы: разработка Концепции долговременной эксплуатации бетонных конструкций дорожных покрытий в период их содержания в условиях резко континентального климата Республики Казахстан.

Предложена и обоснована диссертационными исследованиями новая Концепция содержания автомобильных дорог с бетонным покрытием в условиях резко континентального климата, обеспечивающего 1,5 – 2-кратный рост периода межремонтных циклов, соответствующий рост эксплуатационной надежности и долговечности бетонных покрытий.

Разработано решение означенной проблемы на принципиально новых подходах, основывающихся на выделении из массива бетонного покрытия дорог его верхнего (контактного) слоя бетона на глубину до 60 - 90 мм, испытывающего наибольшее по степени деструктивного воздействие влияния естественных климатических факторов (градиенты температур от -30 °С до +40 °С и более, скорость ветра и др.), а также коррозионные и локально-термические воздействия химических антигололедных реагентов и механических (транспортных) нагрузок.

Разработано изотермо-климатическое районирование территории Республики Казахстан, а также методы и математические зависимости для расчета безопасного уровня термонапряженного состояния поверхностного слоя бетона, минимизирующего и исключаящего первичные нарушения его структуры, а также теоретические основы и технологии применения предложенных и запатентованных антигололедного состава «Строп-М» и защитного комплексного уплотняющего структуру бетона гелекремнезем содержащего состава для профилактического ухода за бетонными покрытиями дорог, что увеличивает период бездефектной эксплуатации покрытий, эксплуатационную надежность и долговечность автомобильных дорог.

Производственная апробация результатов исследований подтвердила их эффективность.

SUMMARY

Pshembayev Mereke Kudaybergenovich

Scientific basis for the maintenance of concrete road pavements in conditions of sharply continental climate (on the example of the Republic of Kazakhstan)

Key words: concrete road pavement maintenance, temperature regime, thermal stress, road-climatic zoning, corrosion destruction, slipperiness, surface layer protection, impregnating compositions.

The aim of the work: development of the concept of long-term operation of concrete pavement structures during their maintenance in the sharply continental climate of the Republic of Kazakhstan.

There is proposed and justified by dissertational research a new concept of maintenance of roads with concrete pavement in conditions of sharply continental climate. It provides 1.5 - 2-fold increase in the period of overhaul cycles and corresponds to an increase in operational reliability and durability of concrete pavement.

The solution of the mentioned problem is developed on principally new approaches based on the separation of concrete paving of its upper roads from the massif (contact) layer of concrete to a depth of 60-90 mm, which has the greatest destructive effect of natural climatic factors (temperature gradients from -30 0S to + 40 0S and more, wind speed, etc.) as well as corrosive and locally thermal effects of chemical anti-icing reagents and mechanical (transport) loads.

There have been developed isothermal-climatic zoning of the territory of the Republic of Kazakhstan, as well as methods and mathematical dependences for calculation of the safe level of thermal stress of the surface layer of concrete, minimizing and excluding the primary violations of its structure. There were also worked out theoretical foundations and technologies of the proposed and patented de-icing composition "Strop-M" and protective complex compacting structure of concrete containing hellehemnezeme composition for preventive maintenance of concrete pavement.

The industrial approbation of the research results confirmed their effectiveness.

ПШЕМБАЕВ
Мереке Кудайбергенович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ СОДЕРЖАНИЯ БЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТО-
МОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ РЕЗКОКОНТИНЕНТАЛЬНОГО
КЛИМАТА**

(на примере Республики Казахстан)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Подписано в печать . . . 2022.

Бумага офсетная. Ризография.

Формат 60×84 1/16.

Уч.-изд. л. 1,0. Усл. печ. л. 1,39.

Тираж экз. Заказ № .

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский национальный технический университет

220013, г. Минск, просп. Независимости, 65

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий от 12.02.2014 № 1/173

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в автореферат диссертации Пшембаева Мереке Кудайбергеновича
«Научные основы содержания бетонных покрытий автомобильных дорог в условиях резко
континентального климата (на примере Республики Казахстан)»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и
транспортных тоннелей

1. Внести изменения в оборотную сторону обложки автореферата диссертации:

Напечатано	Следует читать
Научный руководитель КОВАЛЕВ Ярослав Никитич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета	Научный консультант КОВАЛЕВ Ярослав Никитич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета, г. Минск

Официальные оппоненты::

Напечатано	Следует читать
КАРИМОВ Бури Бачабекович, доктор технических наук, профессор, руководитель Секретариата Межправительственного совета дорожников (МСД), г. Москва;	КАРИМОВ Бури Бачабекович, доктор технических наук, профессор, Председатель Межправительственного совета дорожников (МСД), г. Москва;
Негрей Виктор Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные узлы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель;	Негрей Виктор Яковлевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортные узлы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель;

2. Внести следующие изменения в раздел «**Заключение**», первый абзац пункта 2 подраздела «**Основные результаты диссертации**»:

Напечатано:

2. Принципиальные изменения в методах , которые в совокупности образуют предложенную Концепцию, включают:

Следует читать:

2. Принципиальные изменения в методах , которые в совокупности образуют предложенную Концепцию, включают [1, 2, 5, 8, 13, 14, 19]:

Соискатель



М.К. Пшембаев

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.05,
к.т.н., доцент



С.Н. Ковшар