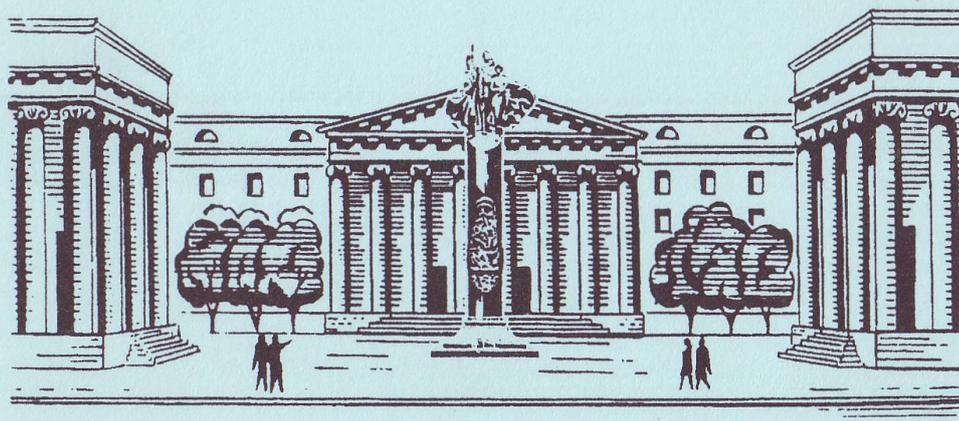




Московский
автомобильно-дорожный институт
(государственный технический университет)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ: НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



МОСКВА 2008

УДК 625.71.8

ББК 39.311

«СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ: НАУЧНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ»

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ МОСКОВСКОГО
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО ИНСТИТУТА
(ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

Издание МАДИ (ГТУ), 2008, 128 с., 30 рис., 21 табл., 46 библи.

В сборнике научных трудов МАДИ (ГТУ) представлены статьи, посвящённые вопросам совершенствования критериев оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, совершенствования метода расчёта дорожных одежд, вопросам предотвращения колееобразования и технологии ремонта асфальтобетонных покрытий, особенностям приготовления некоторых дорожно-строительных материалов, вопросам исследования факторов, влияющих на разрушение асфальтобетона а также проблеме бытовых отходов на автомобильных дорогах.

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. А.П. Васильев (отв. редактор);

д-р техн. наук, проф. Ю.М. Яковлев;

канд. техн. наук, доц. С.В. Лугов (отв. секретарь);

асс. Е.В. Калёнова

© Московский автомобильно-дорожный институт
(государственный технический университет), 2008

Механизм воздействия агрессивных факторов на асфальтобетон и причины разрушения структуры асфальтобетона при его работе в дорожных покрытиях

Известно, что материалы, используемые в конструктивных слоях дорожной одежды в процессе эксплуатации должны сопротивляться комплексному воздействию механических нагрузок, изменению температуры и влажности, действию различных растворов солей, газов, совместному воздействию попеременного замораживания-оттаивания, растворов противогололедных солей и других эксплуатационных факторов в течение требуемого (проектного) срока службы.

Исследованием влияния эксплуатационных воздействий на долговечность асфальтобетона занимались специалисты многих стран [3, 4, 34, 42, 67, 95, 100, 106, 129, 130, 140, 142]. Однако, несмотря на многочисленные работы в этой области, которые продолжаются и в настоящее время, нельзя считать, что выявлены все воздействия и полностью изучены механизмы их влияния на асфальтобетон.

Наоборот, по мере исследования отдельных факторов, появляются новые, ранее неизвестные, требующие более тщательного рассмотрения их влияния на долговечность и надежность работы асфальтобетонных покрытий. В зависимости от этих факторов могут меняться количественные характеристики сроков службы дорожных покрытий. Эксплуатационные воздействия, способствующие разрушению структуры асфальтобетона можно условно разделить в три основные группы (рис. 1):

- воздействие автотранспортных средств на асфальтобетон дорожной конструкции;
- воздействие **факторов, связанных с эксплуатацией** на асфальтобетонные покрытия;
- воздействие **окружающей среды** на снижение физико-механических характеристик асфальтовых бетонов.



Рис.1. Основные эксплуатационные воздействия на асфальтобетонные конструктивные слои дорожной

Влияние факторов, зависящих непосредственно от движения транспортных средств, изучено достаточно полно. Воздействия, связанные с автотранспортными средствами, и проявляющиеся при этом структурные изменения в материале обычно проявляются в разрыве сплошности материала в виде трещин, абразивном износе поверхности верхнего слоя, потерей несущей способности асфальтобетонного покрытия при летних эксплуатационных температурах (вызванной снижением ниже допустимого для конкретных условий структурно-механических показателей).

В меньшей степени изучено воздействие агрессивных сред на асфальтобетон. Считается, что такие агрессивные среды как вода, минерализованные грунтовые воды, а также растворы противогололедных солей не оказывают заметного разрушающего воздействия на компоненты асфальтобетона, и в конечном итоге на

асфальтобетон в целом. Однако ряд работ в нашей стране и за рубежом, а также наши собственные исследования в этой области говорят об обратном.

Проникая в микродефекты структуры асфальтобетона, вода способствует адсорбционному понижению прочности материала (эффект Ребиндера) за счет снижения поверхностной энергии стенок трещины и ослабления контактных структурных связей у вершины трещины по мере ее развития [76, 83]. Закономерное снижение прочности асфальтобетона с увеличением срока выдерживания материала в воде объясняется постепенной диффузией воды внутрь материала и все увеличивающимся расклинивающим ее действием. Значительно разрушают структуру асфальтобетона его постоянное попеременное увлажнение и высыхание. Перемещаясь в порах, вода вызывает неравномерное распределение напряжений, что также способствует разрушению структуры материала.

Еще более разрушительно действие воды, замерзающей в порах асфальтобетона или в порах содержащегося в нем каменного материала. Замерзающая вода, увеличиваясь в объеме, вызывает большие напряжения в стенках пор. В результате этого могут возникать микротрещины, вновь заполняющиеся при оттаивании водой. Помимо ее расклинивающего действия, усиливающегося под действием переменных нагрузок транспортных средств, замерзающая в микротрещинах вода способствует развитию процесса разрушения структуры асфальтобетона [8-9, 81].

Нельзя не отметить нестабильность во времени свойств органических вяжущих материалов. Под воздействием кислорода воздуха и других факторов происходит его старение, вызванное постепенным переходом тяжелых масел в легкие смолы, смол в асфальтены. При этом по определению профессора И.М. Руденской «весь раствор высокомолекулярных органических соединений становится более вязким и менее пластичным», что с одной стороны повышает сдвигоустойчивость асфальтобетона при летних

эксплуатационных температурах, а с другой делает его хрупким зимой [97].

При повышении температуры вязкость битума, содержащегося в асфальтобетоне, понижается, связи между минеральными частицами ослабевают, что влечет за собой уменьшение прочности, как элементов контактной структуры материала, так и аддитивной прочности. При понижении температуры вязкость битума, а с нею и прочность повышаются, при этом при зимних эксплуатационных температурах повышается жесткость и снижается эластичность как элементов микроконтактной структуры, так и материала в целом [84], что способствует хрупкому разрыву сплошности на микро- и макроуровнях.

Как и все пористые материалы, асфальтобетон подвергается агрессивному воздействию не только снаружи, но и изнутри. Определенный интерес представляет работа английских ученых Obika и Freer-Hewish [137, 138].

Отрицательное воздействие растворимых солей на разрушение структуры асфальтобетона констатируют ученые многих стран: Австралии, Африки, Северной Америки, стран Ближнего Востока [124, 126, 132, 135, 137]. Наиболее детально физико-химические факторы, влияющие на разрушение асфальтобетонных покрытий, рассмотрены в работах английских ученых из Бирмингемского университета.

Тип и концентрация солей в почве зависят, прежде всего, от климата и от геологических условий. Практически наиболее часто встречаются - **NaCl**, **CaSO₄**, **Na₂SO₄**, **MgSO₄**, **Na₂CO₃**. Эти соли в естественном виде могут содержаться в грунтовой воде или почве или в отходах промышленности, которые используют при строительстве дорожных одежд.

По мнению английских ученых [137, 138] растворимые в воде соли способны перемещаться к поверхности покрытия двумя способами:

1) в результате испарения или наличия явления капиллярности;

2) в результате суточного изменения температуры на поверхности дорожного покрытия («тепловое» движение).

При изменении температуры и относительной влажности соль может переходить из одного фазового состояния в другое. При таком переходе возможно изменение объема кристаллизовавшейся агрессивной среды и увеличение внутреннего давления, которые разрушают битумные пленки, ломая контактную структуру асфальтобетона. Каталитическое действие на переход соли из одного состояния в другое оказывает присутствие других солей. Например: точка перехода **Na₂SO₄** декагидрат (32°C) уменьшается до 26°C в присутствии **NaCl** низкой концентрации.

В результате были сформулированы меры по предотвращению или, в крайнем случае, замедлению разрушения асфальтобетона под действием растворов солей, находящихся в почве или грунтовых водах. Это:

1. Увеличение толщины слоя асфальтобетона.
2. Использование в качестве органического вяжущего дорожных битумных эмульсий, вместо битумов.
3. Укладка в основание слоев геоткани.
4. Тщательная очистка поверхности основания с целью удаления солей до устройства конструктивных слоев дорожной одежды.

Появляются новые виды противогололедных солей, влияние которых на асфальтобетон пока не рассматривалось.

Долгое время считалось, что противогололедные реагенты не оказывают какого-либо заметного воздействия на асфальтобетон. Однако анализ результатов систематических наблюдений за состоянием асфальтобетонных покрытий свидетельствуют, что при интенсивной обработке противогололедными материалами асфальтобетонные покрытия, как правило, имеют пониженные сроки эксплуатации. На долговечность асфальтобетона в агрессивной солевой среде большое влияние оказывает природа минерального материала, химическая стойкость битума, количество его в смеси и уплотняющая нагрузка и др. факторы [67].

Установлено, что химическая стойкость асфальтобетонного покрытия в отношении агрессивных растворов определяется [13, 31, 41-43, 46, 67, 80, 95, 114, 116, 139]:

- 1) способностью битума противостоять агрессивному воздействию раствора;
- 2) степенью водонасыщения и набухания асфальтобетона в агрессивной среде;
- 3) коэффициентом диффузии, характеризующим скорость проникновения раствора в материал покрытия;
- 4) устойчивостью к агрессивной среде крупного и среднего заполнителя, входящего в состав асфальтобетона.

Было установлено, что воздействие противогололедных реагентов способствует изменению группового состава нефтяных дорожных битумов. При этом происходят процессы, аналогичные процессам, протекающим при старении вяжущего – переход масел в смолы, смол в асфальтены. В зависимости от длительности пребывания битума в агрессивной солевой среде этот переход ускоряется [143].

С целью продолжить исследования отечественных и зарубежных ученых, было предложено изучить механизм химического взаимодействия битума и минеральных компонентов асфальтобетона с агрессивными растворами.

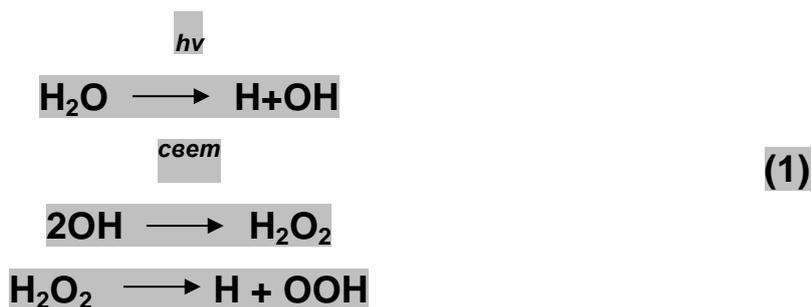
По представлению профессора И.М. Руденской [98] с химико-физической точки зрения битумы представляют собой сложный раствор высокомолекулярных органических соединений смесь веществ, в котором асфальтеновая часть растворена в мальтеновой. Это как низко- и высокомолекулярные органические комплексы - мальтеновые смолы, петролены, асфальтены, карбены и карбоиды, различные функциональные группы.

Несмотря на сравнительно небольшое содержание кислорода, серы, азота, эти химические элементы оказывают большое влияние на образование сложных высокомолекулярных веществ, входящих в состав битума. Кроме того, эти элементы входят в состав различных активных функциональных групп **ОН**, **СООН**, **СН=СН**, **NH₂**, **SH** и др., которые оказывают большое влияние на поверхностную активность битумов и дегтей, обуславливающих сцепление и прилипание их к каменным материалам.

Перечисленные функциональные группы – реакционно-способны и активны. От их содержания и распределения в групповом составе битума зависят важнейшие свойства битума как органического вяжущего материала. Содержание активных функциональных групп определяет интенсивность прилипания битума к поверхности каменных материалов. Некоторые группы **ОН**, **СООН** и в особенности ненасыщенные углеводородом с двойными связями - **СН=СН** – определяют склонность битумов к процессам окисления и полимеризации.

Процессы старения битума связаны с окислением входящих в его состав органических молекул. В наиболее общем случае в

качестве окислителя выступает гидропероксид-радикал $\cdot\text{OON}$, образующийся из воды под действием света [116]:



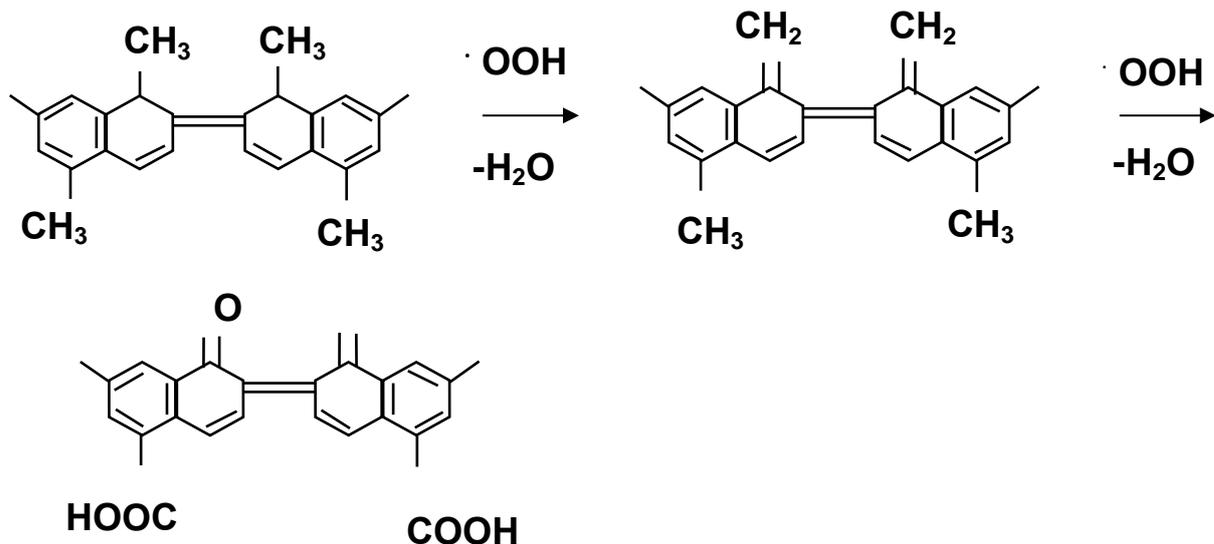
Растворенный в воде кислород также является сильным окислителем, механизм его окислительного действия включает образование гидропероксид-радикала. Окислительно-восстановительный потенциал (E , В) растворенного в воде кислорода зависит от кислотности среды:

$$E = 1,23 - 0,059 \text{pH} \quad (2)$$

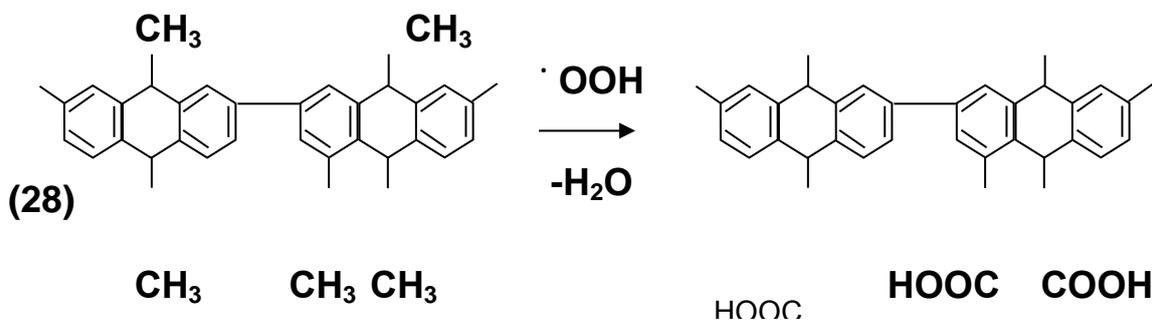
Под действием этих окислителей в составе битума появляются ионогенные группы, увеличивается содержание полярных групп. Это приводит к улучшению смачивания асфальтобетона, увеличению растворимости компонентов битума, и дальнейшему их вымыванию из асфальтобетона, сопровождающемуся ростом пористости и обнажению части поверхности минеральных наполнителей с увеличением вероятности их взаимодействия с растворами агрессивных противогололедных реагентов.

Ниже приводятся наиболее типичные виды реакций взаимодействия гидропероксид-радикала с компонентами битума.

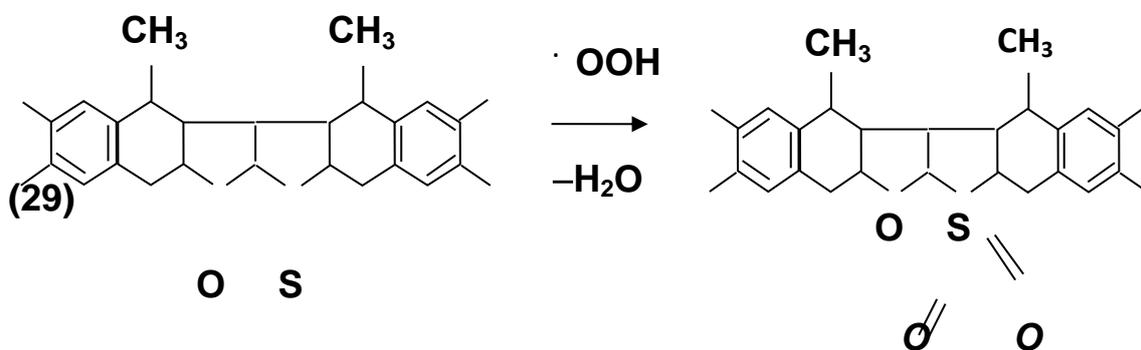
При окислении полиарилатов образуются сначала хиноидные структуры, а затем – асфальтеновые кислоты, легко растворимые в щелочных средах:



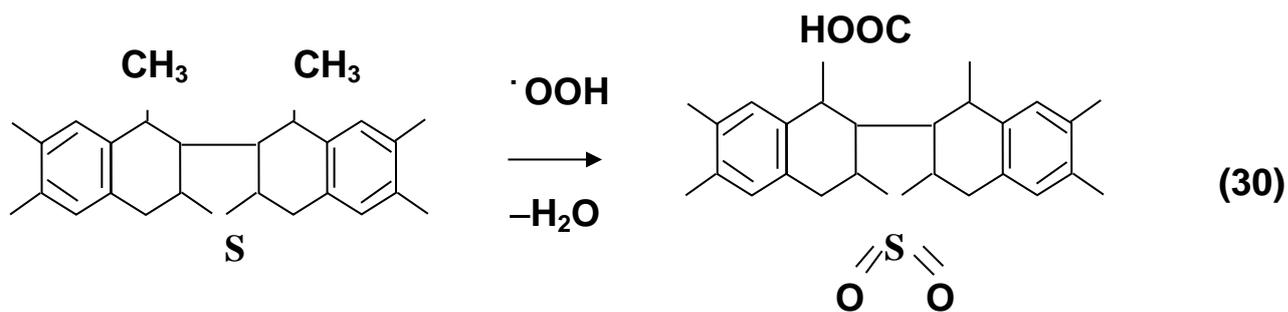
Антраценовые производные превращаются в поликарбоновые кислоты:



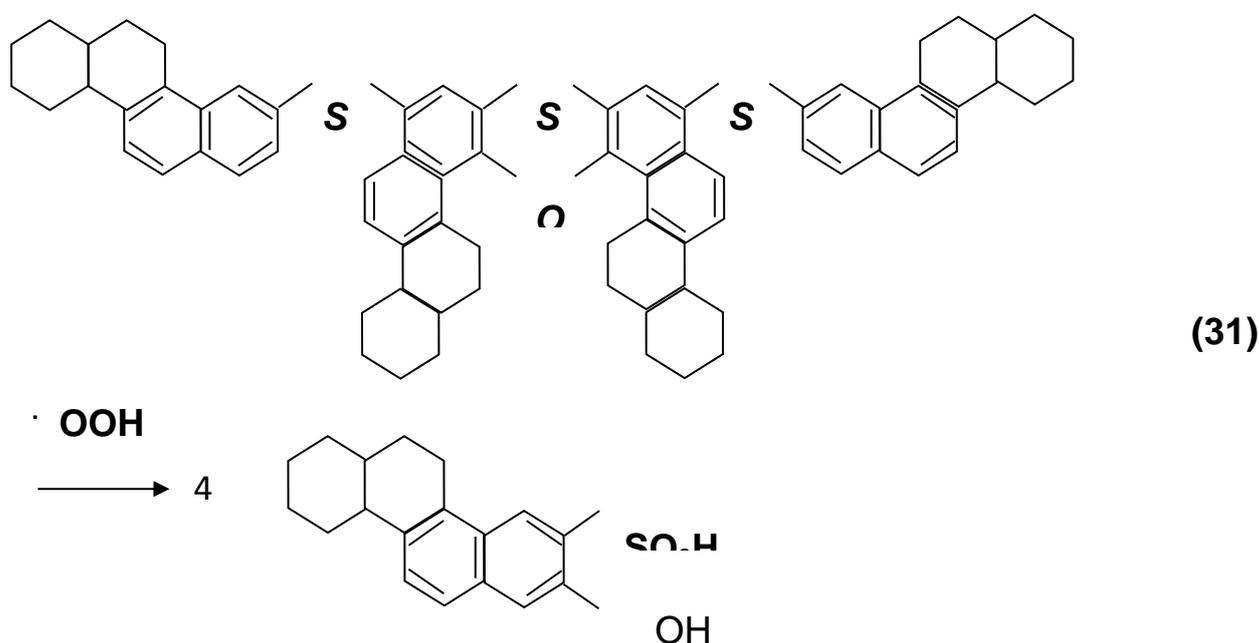
Кислород- и серосодержащие полиарилаты превращаются в органические карбоновые кислоты, представляющие собой низкомолекулярные лестничные полимеры:



Малополярные органические сульфиды превращаются в высокополярные сульфоны, сульфоксиды, диоксисульфиды:



При окислении производных антрацена и нафталина образуются растворимые арилсульфо кислоты, например:

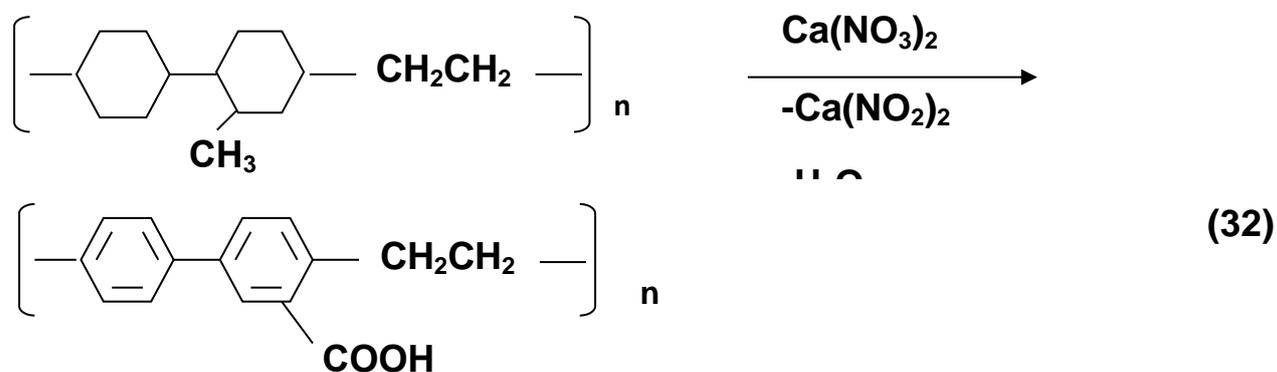


В состав противогололедных реагентов входят соли хлористый натрий (**NaCl**), хлористый кальций (**CaCl₂**), хлористый магний (**MgCl₂**), нитрат кальция (**Ca(NO₃)₂**), нитрат магния (**Mg(NO₃)₂**), и неионогенные вещества, например, мочевины (**(NH₂)₂CO**).

Реакции между этими веществами и компонентами битума сложны и многообразны. Как правило, это окислительно-восстановительные реакции и реакции замещения и обмена, идущие под действием тепла, ультрафиолетового и видимого излучения,

механических напряжений (последние могут снижать энергию активации).

Наиболее активными компонентами противогололедных препаратов являются нитраты, способные окислять битум. Например, при реакции с нафтенами образуются карбоновые кислоты:

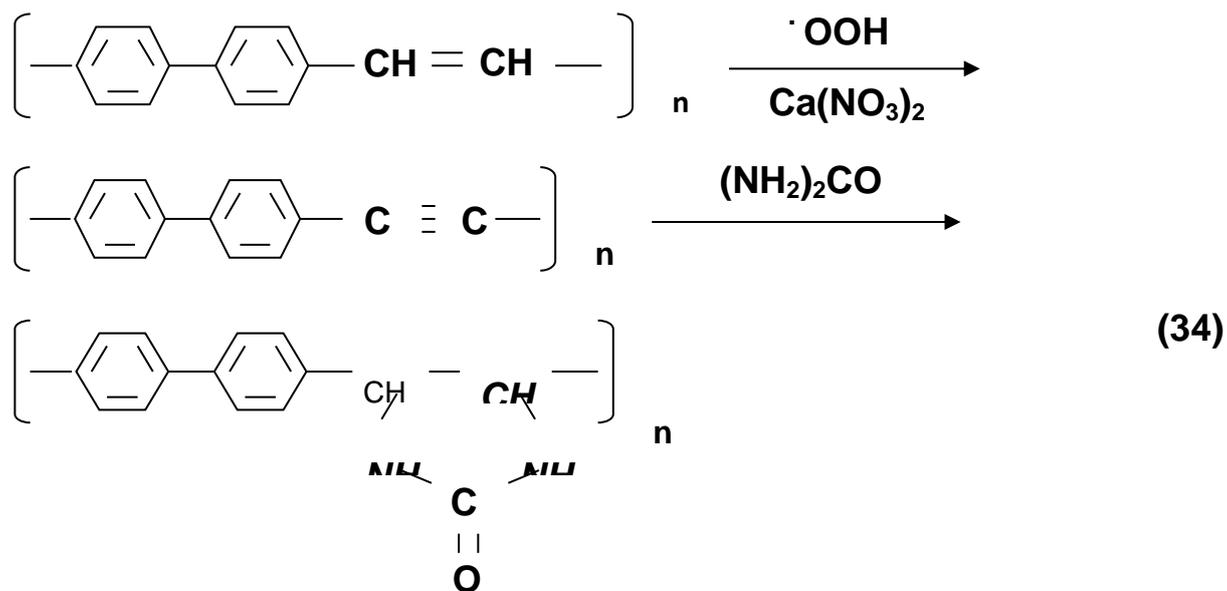


Окислительно-восстановительный потенциал нитратов зависит от их концентрации и кислотности среды:

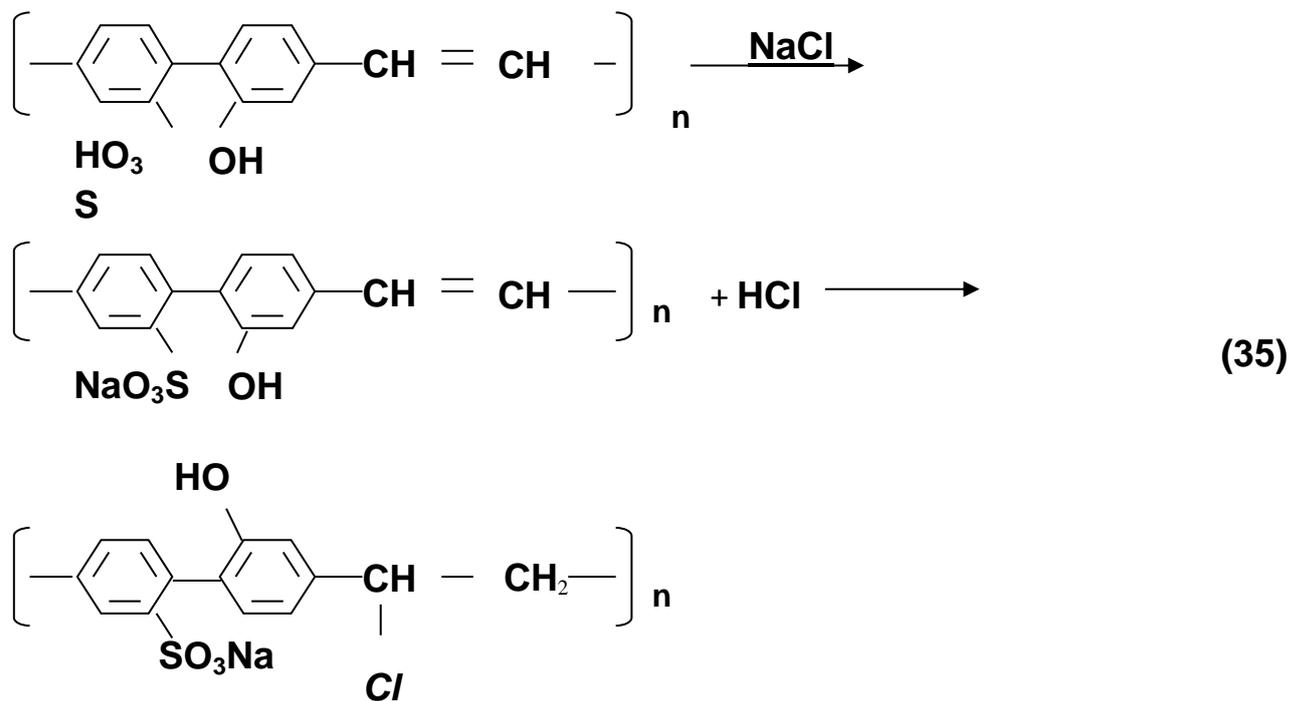
$$E = 0,94 - 0,059 \text{pH} + 0,0295 \lg \frac{\text{NO}_3^-}{\text{NO}_2^-} \quad (33)$$

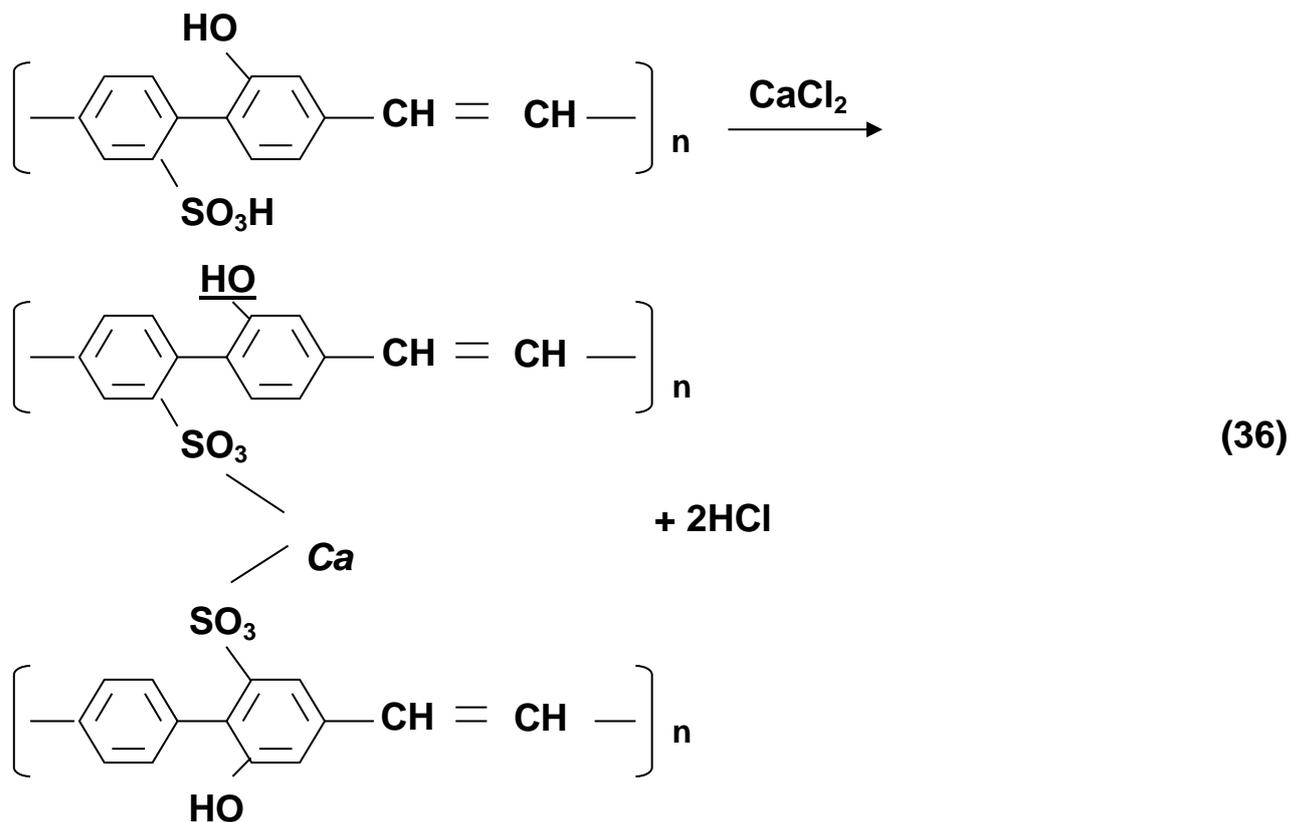
Этот потенциал сопоставим с потенциалом растворенного в воде кислорода, т.е. при использовании в противогололедных реагентах нитратов скорость старения битума возрастает. Кроме того, все используемые в противогололедных реагентах соли катализируют основные реакции окисления компонентов битума гидропероксид-радикалами.

Неионогенные компоненты противогололедных реагентов также могут встраиваться в молекулы битума и повышать их полярность, например, мочевины:



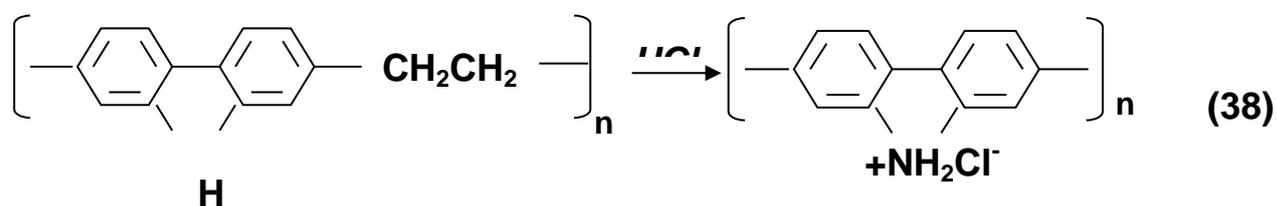
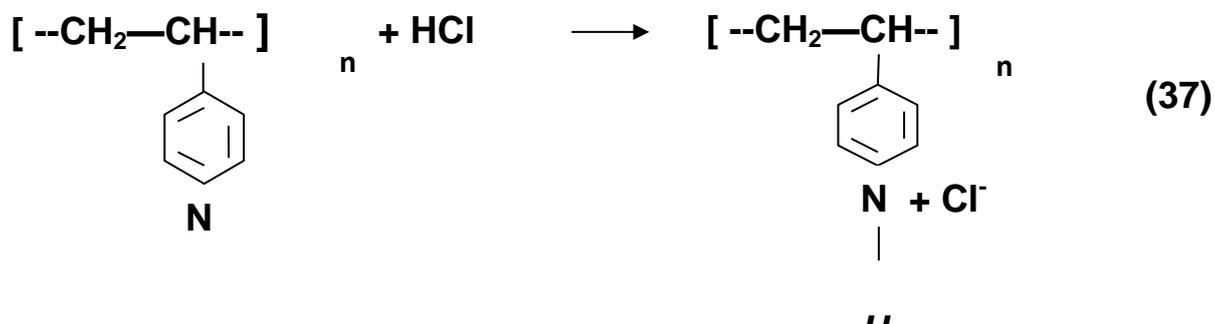
Присутствие хлоридов также способствует введению в молекулы битума полярных групп и повышению их растворимости:





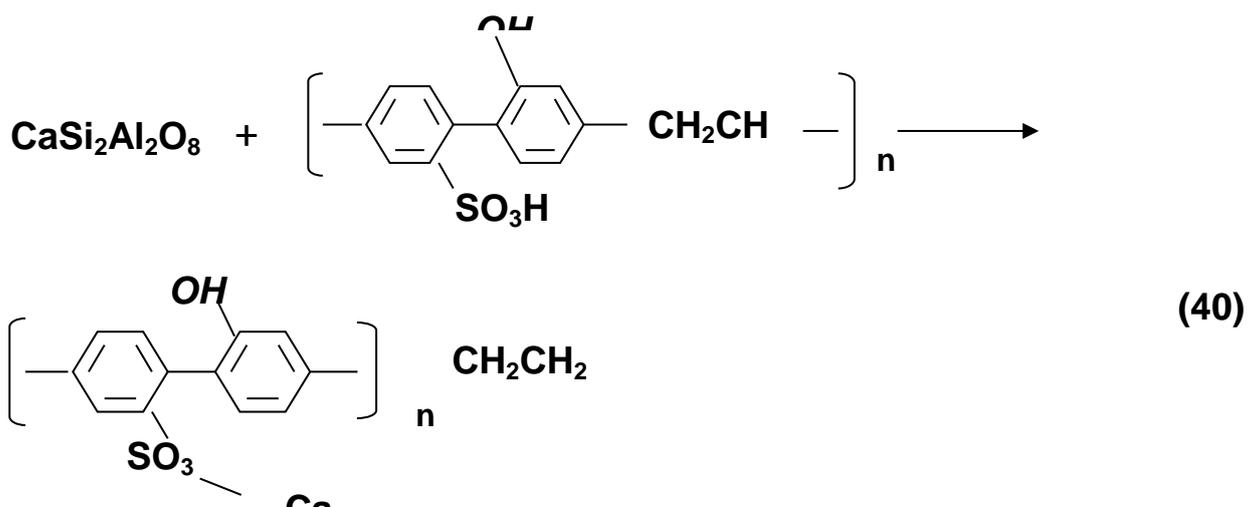
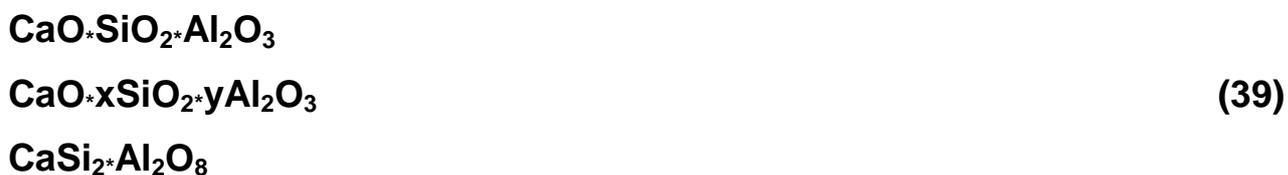
Образующаяся в результате водорастворимая соль сульфокислоты вымывается из дорожного покрытия.

Превращение полимерной кислоты в соль приводит к повышению растворимости. Аналогично, превращение полимерных оснований в соли также приводит к повышению растворимости. Так, азотсодержащие компоненты битума (производные пиридина, карбазола) под действием кислотных осадков ионизируются, при этом их растворимость возрастает:



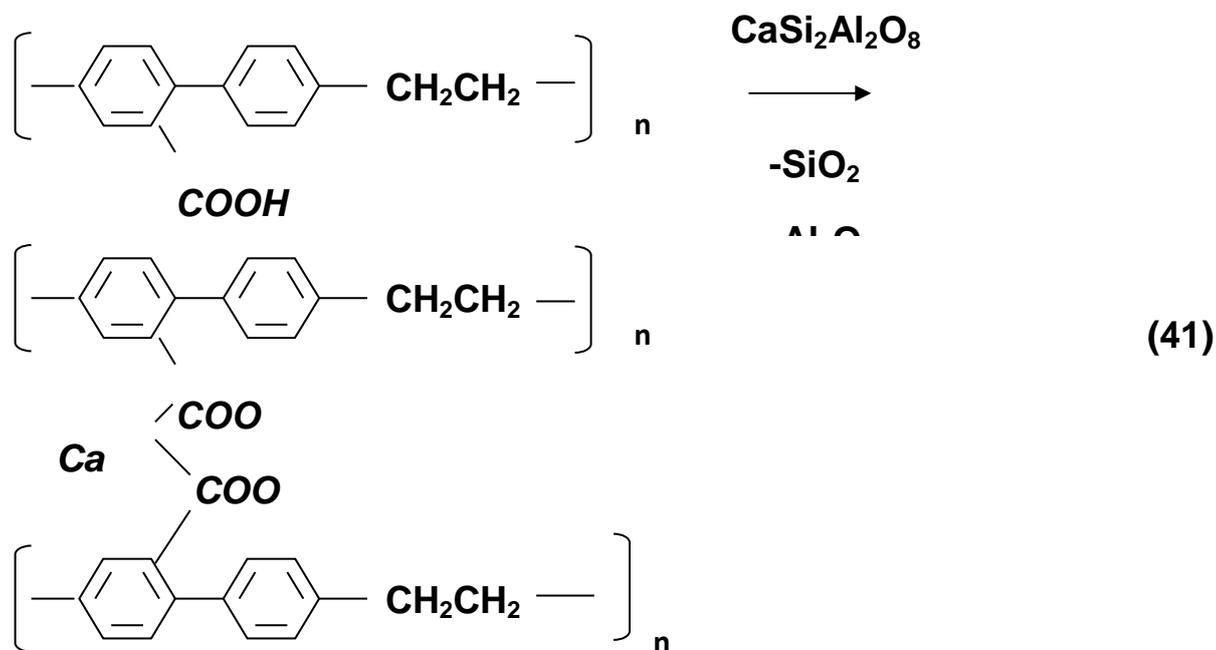
Образующиеся по всем вышеприведенным реакциям полярные и растворимые вещества способны взаимодействовать с минеральными наполнителями.

Так, сульфокислоты взаимодействуют с минеральным порошком, щебнем, гравием, которые содержат алюмосиликаты кальция:



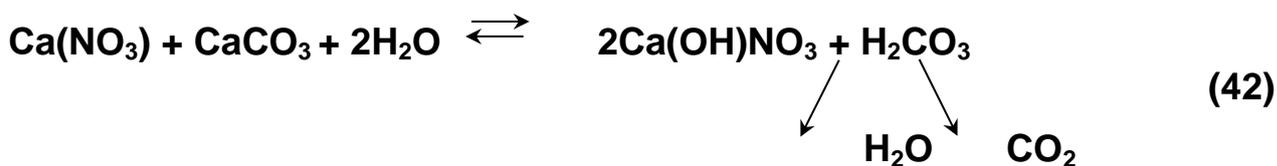
В результате происходит вымывание кальция (образующаяся соль растворима), приводящее к разрушению дорожного полотна.

Аналогично действуют и карбоновые кислоты, образующиеся под действием растворенного в воде кислорода:



В результате образуется водорастворимая соль, происходит набухание асфальтобетона с последующим его разрушением.

Карбонат кальция, составляющий основу минерального порошка, взаимодействует с агрессивными растворами. Карбонат кальция может разлагаться водным раствором нитрата кальция, в результате чего образуются гидроксо-соединения меньшей плотности, что приводит к увеличению объема этих компонентов.



Анализ исследований и приведенных выше химических процессов, протекающих при воздействии противогололедных средств с асфальтобетоном и его компонентами, показывает, что разрушение структуры материала может протекать различным путем. Это зависит от состава асфальтобетона и свойств компонентов, группового и химического составов битума, генетических и петрографических особенностей составляющих каменного остова и многих других структурно-механических характеристик.

**Классификация химического воздействия
противогололедных реагентов на асфальтобетонные покрытия**
Таблица 1

Вид воздействия	Результат воздействия	Типичные реагенты
1. Увеличение количества полярных групп и растворимости отдельных компонентов битума	Вымывание легкорастворимых соединений, снижение адгезии битума и каменного материала	Реагенты, содержащие нитраты NO_3^-
2. Изменение группового состава органических вяжущих	Увеличение жесткости пленки вяжущего, снижение трещиностойкости	Реагенты, содержащие хлориды Cl^- , сульфаты SO_4^{2-}
3. Уменьшение краевого угла смачивания асфальтобетона	Проникновение агрессивных растворов на большую глубину	Мочевина, этиленгликоль и др.
4. Совокупное воздействие нескольких признаков	Снижение основных характеристик компонентов асфальтобетона	НКММ и др.
5. Вымывание карбоната кальция из известнякового	Снижение прочности асфальтобетона, разуплотнение	Реагенты, содержащие сульфаты SO_4^{2-} ,

наполнителя	структуры, ослабевание контактов	нитраты NO_3^-
6. Реагенты, не вызывающие вышеперечисленных изменений	_____	Ацетаты CH_3COO^- , формиаты $HCOO^-$, фосфаты PO_4^{3-}

Рассмотрение процессов взаимодействия асфальтобетона и органических вяжущих материалов с агрессивными противогололедными реагентами позволяет утверждать, что:

1. Воздействие агрессивной среды способствует разрушению структуры асфальтобетона и составляющих его компонентов.
2. При относительно длительном контакте с агрессивной средой битум не защищает минеральную часть асфальтобетона от разрушения.
3. Воздействие хлористых солей приводит к изменению группового состава битума. При этом тяжелые масла переходят в легкие смолы, а тяжелые смолы - в легкие асфальтены. Это способствует снижению вязкости и деформативности вяжущего.
4. Агрессивные среды способны вымывать частицы минерального наполнителя из микроструктуры асфальтобетона (асфальтовяжущего вещества), разрушая микроконтактную структуру материала.
5. По сравнению с кислыми компоненты асфальтобетона из основных горных пород более чувствительными к действию агрессивной водной среды. Это объясняется различием в характере химических связей, рвущихся при разрушении.
6. Насыщенные солями водные растворы проникают в поры каменного материала при более низкой температуре, чем не минерализированная вода.

7. Прочность и коррозионная стойкость структуры асфальтобетона снижается при воздействии различных агрессивных сред.
8. Процессы разрушения структуры асфальтобетона протекают быстрее в растворах сульфата магния и натрия, чем в растворах хлористых солей.
9. При одновременном действии попеременного замораживания-оттаивания и агрессивной среды деструктивные процессы в асфальтовом бетоне ускоряются.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Васильев А.П., Лугов С.В. Плавность трассы как один из критериев оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог.....	4
Немчинов М.В., Рудакова В.В. Бытовые отходы на автомобильных дорогах России.....	14
Яковлев Ю.М., Калёнова Е.В. Влияние скорости движения автомобиля на вертикальную деформацию нежёсткой дорожной одежды под нагрузкой.....	22
Лугов С.В. Анализ возможности применения приближённых методов теории пластичности для решения практических задач расчёта необратимых деформаций в дорожных конструкциях.....	31
Лугов С.В., Калёнова Е.В. Влияние величин расчётных осевых нагрузок на общую прочность дорожных одежд и их конструкции.....	38
Калёнова Е.В. Некоторые особенности расчёта нежёстких дорожных одежд по критерию обеспечения морозоустойчивости конструкции.....	46
Бочкарёв В.И., Дмитричев А.В., Жустарёва Е.В. Профилактика колееобразования путём изменения схемы дорожной разметки.....	53

Ларина Т.А. О возможностях ликвидации мелких поверхностных разрушений по холодной эмульсионной технологии.....	67
Луланов А.П., Силкин В.В., Рудакова В.В., Бабков И.Б. Приготовление дорожных битумных эмульсий.....	75
Котлярский Э.В., Воейко О.А. Механизм воздействия агрессивных факторов на асфальтобетон и причины разрушения структуры асфальтобетона при его работе в дорожных покрытиях.....	84
Горячев М.Г., Давидяк А.Н. Моделирование температурного поля от бесканальных теплосетей в фургляре в грунтовой среде.....	100
Горячев М.Г., Давидяк А.Н. Влияние эксплуатационных условий работы подземных бесканальных теплосетей в фургляре на величину температуры их поверхности.....	108
Борисюк Н.В., Литманович А.А., Копылова Д.Р. Влияние растворов противогололёдных реагентов на сцепные качества покрытия.....	114
Заключение.....	125