

КУДРЯВЦЕВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ



**ПРИМЕНЕНИЕ АНТИГОЛОЛЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ
В УСЛОВИЯХ УРАЛА**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2005

14/9-05

Работа выполнена в Уральском государственном лесотехническом университете

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники России
Силуков Юрий Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Багин Юрий Иванович
доктор технических наук, профессор
Бурындин Виктор Гаврилович

Ведущая организация - Свердловское областное государственное
учреждение «Управление автомобильных дорог»

Защита состоится 30 июня 2005 г. на заседании диссертационного
совета Д.С.С. 281.01 при Уральском государственном лесотехническом
университете по адресу: 620100 г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37,
ауд. 401 (зал ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при Уральском
государственном лесотехническом университете.

Автореферат разослан « 27 » мая 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Кузубина Н.В.

Актуальность темы. Лесовозный автомобильный транспорт является важной составляющей технологии лесозаготовительного производства. Недостаточность количества лесных дорог, тяжелые природные и географические условия являются причиной сезонности лесозаготовительного производства, что отрицательно влияет на развитие лесопромышленного комплекса. Отсутствие развитой сети дорог круглогодичного действия, а также их неудовлетворительное состояние сказывается на эффективности работы лесовозного транспорта, на долю которого приходится более 87 % объема вывозимых лесоматериалов.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2002 г. № 1540-р предусматривается ежегодный рост объемов строительства лесовозных дорог круглогодичного действия, которые позволят увеличить эффективность работы, а также увеличить скорость движения лесовозных автопоездов.

В зимний период на автомобильных дорогах образуются гололед и снежно-ледяные отложения. Они существенно уменьшают сцепление колес автомобилей с покрытием. Нередки случаи, когда лесовозный автопоезд «складывается» на спуске во время гололеда. В результате на скользких дорогах снижается производительность автомобильного транспорта на вывозке леса и увеличивается количество дорожно-транспортных происшествий.

Борьба с гололедом является исключительно важным мероприятием на зимних дорогах, т.к. гололед представляет настоящее бедствие для дорог; 80 % дорожно-транспортных происшествий происходит на скользких зимних дорогах (это характерно для США, России, Скандинавских стран).

Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах в основном ведется с помощью посыпки песчано-соляной смесью, а также с применением различных химических реагентов, содержащих хлориды. Хлориды оказывают негативное воздействие на материалы покрытия, металлические детали машин и дорожных сооружений, а также пагубно влияют на экологическую обстановку придорожной полосы.

Назрела необходимость, чтобы современные методы зимнего содержания автомобильных дорог пошли по пути полного или частичного отказа от распределения хлоридов. Наиболее перспективным является предупреждение образования гололеда за счет создания покрытий автомобильных дорог с противогололедными свойствами, что делает возможным механическое удаление снежно-ледяных отложений снегоуборочной техникой и исключение отрицательного воздействия химических реагентов на окружающую среду. В настоящее время существующие антиобледенительные добавки не нашли широкого применения, поскольку они дорогие и их введение в состав асфальтобетона значительно повышает стоимость покрытия. К тому же, практически все они содержат хлориды.

В настоящей работе для повышения противогололедных свойств асфальтобетона используется кремнийорганический модификатор МПА-130, не со-

держаний хлоридов, разработанный в Уральском государственном лесотехническом университете (УГЛТУ).

Устройство верхнего антигололедного слоя дорожного покрытия на основе гидрофобизирующего модификатора, не содержащего хлоридов, на лесовозных автомобильных дорогах позволит вести активную борьбу с гололедом, благодаря чему повысится коэффициент сцепления колес автомобилей с дорожным покрытием и будет обеспечена нормальная работа лесовозного транспорта. Кроме того, применение таких покрытий позволит улучшить экологическую обстановку придорожной полосы за счет отказа от применения хлоридов.

Актуальность поставленной задачи заключается в разработке технологии устройства верхнего слоя асфальтобетонного покрытия с антигололедными свойствами с помощью гидрофобизирующего модификатора, не содержащего хлоридов, и использование его при устройстве асфальтобетонных покрытий лесовозных автомобильных дорог.

Работа выполнялась по договору с предприятием «ЭКО ПЛЮС» и тематическому плану научных работ Свердловского областного государственного учреждения Управление автомобильных дорог.

Цель работы. Разработать технологию получения верхнего слоя асфальтобетона с антигололедными свойствами за счет введения в состав асфальтобетонной смеси гидрофобизирующего модификатора.

Научная новизна

Предложено в качестве эффективной антигололедной добавки в асфальтобетон использовать кремнийорганический модификатор МПА-130, не содержащий хлоридов и устраняющий образование центров кристаллизации льда на поверхности дорожного покрытия.

Установлено с использованием разработанных методик для определения противогололедных свойств асфальтобетона, что обработка слоя уплотненной асфальтобетонной смеси модификатором МПА-130 с расходом 0,5 - 0,6 л/м² обеспечивает высокие противогололедные свойства асфальтобетонных покрытий.

Показано, что происходящие в присутствии модификатора МПА-130 изменения бипума не приводят к снижению показателей физико-механических свойств асфальтобетона.

Разработана регрессионная математическая модель, которая позволяет оценить влияние параметров процесса гидрофобизации слоя асфальтобетона на его антигололедные свойства.

Получен патент на изобретение способа образования противогололедного слоя на автомобильной дороге (заявка № 2003121755, п.р. от 07.08.2004г).

Практическая ценность

Обоснована возможность получения антигололедного асфальтобетона для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог.

Для повышения противогололедных свойств асфальтобетонных покрытий использован гидрофобизирующий модификатор, не содержащий в своем составе хлористых солей.

Разработана технология приготовления и укладки асфальтобетонной смеси с введением в нее гидрофобизирующего модификатора.

Разработан технологический регламент на приготовление слоя антигололедного асфальтобетонного дорожного покрытия для лесовозных дорог на основе гидрофобизирующей присадки, не содержащей хлоридов.

Определен экономический эффект от применения асфальтобетонной смеси с антигололедными свойствами в верхнем слое дорожного покрытия.

Обоснованность и достоверность исследований, научных положений и выводов подтверждена лабораторными и опытно-производственными исследованиями, которые выполнены с применением современных приборов и оборудования, с использованием математического аппарата планирования эксперимента.

Научные положения, выносимые на защиту.

Возможность использования в качестве противогололедной добавки в асфальтобетон гидрофобизирующего модификатора, не содержащего хлоридов.

Методика определения прочности сцепления льда с асфальтобетоном.

Регрессионная математическая модель процесса устройства слоя асфальтобетона с антигололедными свойствами.

Технология устройства покрытий автомобильных дорог, обладающих противогололедными свойствами.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и получили одобрение на Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, УГЛТУ, 2003г., Всероссийской конференции дорожной отрасли, Челябинск, Уральский филиал МАДИ, 2003г., Научно-технической конференции, посвященной 50-летию ПГТУ и 25-летию Автодорожного факультета ПГТУ, Пермь, ПГТУ, 2003г., Всероссийской научно-технической конференции, Пермь, ПГТУ, 2004г.

Реализация работы. Устроен экспериментальный участок автомобильной дороги площадью 160 м². Разработан технологический регламент на приготовление слоя антигололедного асфальтобетонного дорожного покрытия на основе гидрофобизирующей присадки, не содержащей хлоридов. Изданы методические указания к выполнению лабораторных работ по определению сцепления льда с антигололедным дорожным покрытием, предназначенные для студентов очного и заочного обучения по специальности 260100 «Лесоинженерное дело», специализации «Сухопутный транспорт леса». Заключен договор с ООО «Магистраль» на устройство участка автомобильной дороги с антигололедным слоем износа.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ, изданы методические указания к лабораторным работам, разработан технологический

регламент, получен патент на изобретение способа образования противогололедного слоя на автомобильной дороге.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы 128 наименований, приложений. В работе содержится 126 страниц машинописного текста без приложений, в том числе 21 таблица, 28 рисунков и фотографий.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы ее цели, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор и дан анализ существующих методов борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах.

Рассмотрены работы таких ученых по направлению исследований, как: Р. Блекберн, А. П. Васильев, С. В. Гриневиц, Э. Дигон, С. Данн, Ю. Б. Зонон, Г. Л. Карабан, И. В. Королев, В. Е. Лысенко, Л. Ф. Николаева, В. П. Подольский, В. А. Попов, Ю. Д. Силуков, Т. В. Самодурова, В. Ф. Скорченко, П. Эльсенар и др.

Пугубное воздействие на окружающую среду хлоридов, наиболее распространенных при борьбе с гололедом, привело к законодательному сокращению их использования. Анализ существующих методов показал, что наиболее выгодным и экологически чистым является механический способ удаления зимней скользкости. Однако данный способ не находит широкого применения из-за прочного сцепления снежно-ледяных отложений с дорожным покрытием. Чтобы механическое удаление скользких отложений стало возможным, необходимо придать верхнему слою дорожного покрытия антигололедные свойства, что существенно уменьшит сцепление ледяного слоя с дорогой. Существующие антиобледенительные добавки («Грикол», «Verglimit» и др.) не нашли широкого применения из-за их высокой стоимости и содержания хлоридов.

Отмечается необходимость направить усилия на создание экологически безопасного, относительно дешевого материала покрытий автомобильных дорог, который позволит снизить величину сцепления льда с дорожным покрытием без использования хлоридов и позволит удалять снежно-ледяные отложения с помощью снегоуборочных машин.

Исходя из анализа состояния проблемы борьбы с гололедом на автомобильных дорогах, сформулированы следующие задачи исследований:

- разработать методику определения эффективности противогололедных свойств антигололедного слоя асфальтобетона;
- изучить влияние предлагаемого модификатора на свойства асфальтобетонной смеси;
- определить наиболее благоприятные параметры условий устройства антигололедного покрытия;

- оценить эффективность работы противогололедного слоя при различных температурах окружающего воздуха;

- разработать простую технологию получения верхнего антигололедного слоя асфальтобетонного покрытия на основе гидрофобизирующего модификатора;

- определить экономический эффект от применения асфальтобетонных покрытий с антигололедными свойствами по сравнению с широко используемой в настоящее время песчано-соляной смесью, а также с жидким реагентом «НОРДИКС».

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки создания антигололедного слоя асфальтобетонного покрытия с использованием гидрофобизирующего кремнийорганического модификатора.

Выражение для расчета понижения температуры замерзания (ΔT_3) выглядит следующим образом:

$$\Delta T_3 = K m = T_3^0 - T_3, \quad (1)$$

где T_3 – температура замерзания;

T_3^0 – температура замерзания чистого растворителя (для воды – 0°C);

K – криоскопическая постоянная (для воды – $1,86 \frac{\text{град}}{\text{моль}}$);

m – моляльная концентрация растворенного вещества (соли).

Таким образом, стремление при борьбе с гололедом расплавить уже образовавшийся лед, приводит к необходимости внесения довольно больших количеств неорганических солей, что неоправданно с экономической и экологической точки зрения.

Снизить прочное сцепление льда можно с помощью придания гидрофобных (водоотталкивающих) свойств щебню или гравия, находящемуся в дорожном покрытии. Для этого необходимо обработать гравий, находящийся в верхнем слое покрытия специальными веществами, изменяющими его поверхностные свойства, связанные со смачиванием и адгезией воды к поверхности твердых частиц.

Как известно, мерой смачивания является равновесный краевой угол Θ , определяемый как угол между твердой поверхностью и касательной в точке соприкосновения трех фаз (рис. 1). очевидно, что в случае смачивания $\Theta < 90^\circ$, а при несмачивании $\Theta > 90^\circ$.

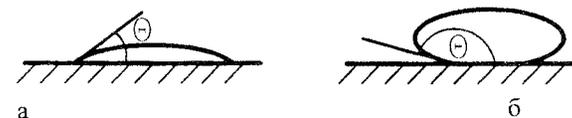


Рис. 1. Схема капли воды на поверхности:
а – гидрофильная (смачиваемая) поверхность
б – гидрофобная (не смачиваемая) поверхность

В состоянии равновесия уравнение, определяющее условия смачивания, представляет собой математическое выражение закона Юнга

$$\cos\Theta = (\sigma_{\text{жг}} - \sigma_{\text{жк}}) / \sigma_{\text{тк}}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{тк}}$ – межфазное поверхностное натяжение на границе раздела фаз «твердое тело – газ»;

$\sigma_{\text{жк}}$ и $\sigma_{\text{жг}}$ – соответствующие натяжения на границах раздела «твердое тело – жидкость» и «жидкость – газ».

В соответствии с этим, работу когезии $A_{\text{к}}$ определяют как работу, необходимую для разрыва однородной объемной фазы; относят ее к единице площади разрыва. Эта работа равна

$$A_{\text{к}} = 2\sigma_{\text{жк}}, \quad (3)$$

поскольку при этом образуются две новых поверхности «ЖГ».

Работа адгезии $A_{\text{а}}$ также относится к единице площади и определяется как работа разрыва межфазного поверхностного слоя. Затрачивается эта работа на образование двух новых поверхностей и возникает за счет исчезновения свободной энергии межфазной границы. Для системы «ТЖ» эта работа равна

$$A_{\text{а}} = \sigma_{\text{жк}} + \sigma_{\text{тк}} - \sigma_{\text{тж}}, \quad (4)$$

Анализ уравнения (4) показывает, что межфазное натяжение $\sigma_{\text{тж}}$ тем меньше, чем больше межфазное взаимодействие $A_{\text{а}}$ на этой границе раздела. Физический смысл этого утверждения заключается в том, что свободная энергия уменьшается за счет работы сил взаимодействия.

Из уравнений (2) и (4) следует уравнение Дюпре

$$A_{\text{а}} = \sigma_{\text{тк}} (1 + \cos\Theta). \quad (5)$$

Оно показывает, что чем больше адгезия, тем больше $\cos\Theta$, т.е. смачивание.

Уравнение (5) совместно с (3) позволяет выразить условия смачивания. При $\cos\Theta > 0$

$$A_{\text{а}} > 0,5A_{\text{к}}. \quad (6)$$

При $A_{\text{а}} = A_{\text{к}}$ растекание становится неограниченным, поскольку $\Theta = 0$.

Уравнения (3) – (6) позволяют судить о смачиваемости поверхности на основании значений параметров $A_{\text{а}}$ и $A_{\text{к}}$, которые всегда можно связать, хотя бы качественно, с природой фаз, с их полярностью.

Основная задача, поставленная в данной работе, состояла в том, чтобы с помощью органических модификаторов изменить свойства поверхности частиц щебня и гравия, входящих в состав асфальтобетонного покрытия, снизив работу адгезии воды и, соответственно, адгезионную прочность пленки льда.

В итоге, в отсутствие на подложке центров, вокруг которых возможна кристаллизация, влаги, при замерзании, будет образовываться непрочный, легко поддающийся механическому удалению слой.

Принимаемый модификатор, кроме придания асфальтобетонному покрытию водоотталкивающих свойств, должен удовлетворять еще ряду требований, а именно: образовывать адгезионно-прочный слой на поверхности минеральных образований, противостоящий механическому износу, перепаду влажности и температур. А также, модификатор не должен образовывать коррозионно-активных соединений по отношению к металлам и резине и быть химически устойчивым.

Из всех рассмотренных гидрофобизирующих реагентов подобному набору свойств в чистом виде, не удовлетворяло ни одно, выпускаемое промышленностью, соединение.

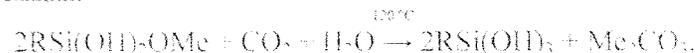
В УГЛТУ на кафедре физической аналитической и органической химии был разработан модификатор МПА-130, наиболее полно отвечающий предъявленным требованиям и обладающий необходимыми свойствами для устройства антигололедных покрытий. Физико-химические свойства модификатора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-химические свойства модификатора МПА-130	
Наименование показателя	Показатель
Внешний вид	Жидкость от бесцветного до светло-коричневого цвета. Допускаются оттенки
Плотность при 20°С, г/см ³	1,17 – 1,21
Массовая доля щелочи в пересчете на NaOH, %	10 – 13
Кинематическая вязкость при 20°С, м ² /с	(4 – 6) × 10 ⁻⁵

Его отличительными характеристиками являются способность образовывать на поверхности модифицируемого вещества адгезионно-прочные гидрофобные слои, он не агрессивен по отношению к металлам и резине и не образует коррозионно-активных соединений, т.к. водорастворим и не разрушается под действием кислот и щелочей, а также не пожароопасен.

Сущность работы МПА-130 заключается в прививке модификатора к минеральной части асфальтобетона. Реакция идет в две стадии. На первой стадии МПА-130 модифицируется, т.е. идет замещение щелочного металла по следующей реакции:



В этой реакции радикал R представлен в виде аниона C₂H₅ или пропана C₃H₇; Me – металл щелочной.

На второй стадии в асфальтобетонной смеси идет образование полимера с протеканием следующей реакции:



При полимеризации образуется тончайшая гидрофобная плёнка, состоящая из R -радикалов. Здесь образуется высокомолекулярный полимер с элементарным звеном $[\text{RSiO}_{1,5}]_n$. Гидрофобная плёнка представлена C_2H_5 - этил-радикалом. Эта плёнка препятствует образованию прочных связей льда с дорожным покрытием.

Таким образом, в результате обработки асфальтобетонной смеси верхнего слоя дорожного покрытия гидрофобизирующим модификатором МПА-130 предотвращается появления центров кристаллизации льда на поверхности асфальтобетонного покрытия. Другими словами лед, образующийся на обработанном дорожном покрытии, не имеет прочной связи с ним и может легко удаляться с помощью снегоуборочной техники.

В третьей главе приведены методики и результаты экспериментальных исследований.

Экспериментальная часть ставила своей целью экспериментально обосновать получение асфальтобетонов, обладающих противогололедными свойствами, за счет введения в их состав модификатора МПА-130.

Поскольку стандартных методов и приборов для определения противогололедных свойств асфальтобетона не существует, была разработана собственная, в которой оценка полученного антигололедного эффекта производилась по показателям касательного напряжения сдвига льда относительно поверхности образца асфальтобетона (разрушение сцепления слоя льда с асфальтобетоном). Проведение испытания осуществляется при помощи специально изготовленного стенда (рис. 2).

Для проведения испытания готовился образец асфальтобетонного покрытия с антигололедными свойствами. Для чего разогреваются приспособление для приготовления образца и асфальтобетонная смесь. Затем в цилиндр насыпается асфальтобетонная смесь и равномерно распределяется. После чего на смесь разливается требуемое количество модификатора. Приспособление помещается под пресс, где под давлением формируется образец. После остывания образца на нем в морозильной камере намораживается слой льда.

После полного замерзания воды приспособление с готовым для испытания образцом монтируется на испытательном стенде, где происходит сдвиг слоя льда относительно образца покрытия.

При приготовлении образцов асфальтобетона с противогололедными свойствами варьировались факторы, наиболее значимые, на наш взгляд, в этом процессе, а именно: расход модификатора – 0,0-1,0 л/м²; температура асфальтобетонной смеси в момент введения модификатора – 120-160 °С; время прошедшее после введения модификатора в асфальтобетонную смесь до начала ее уплотнения – 0,0-5,0 мин.

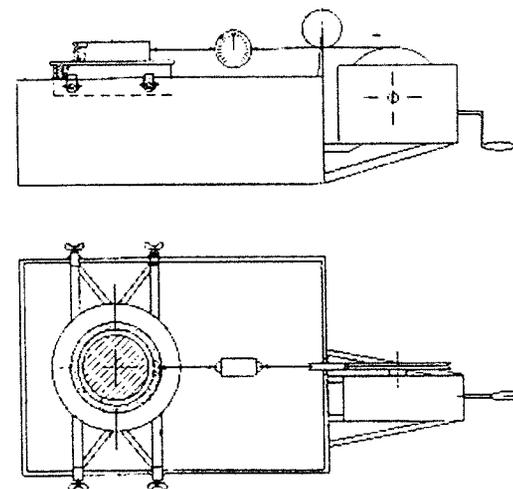


Рис. 2. Стенд для определения прочности касательного напряжения сдвига льда относительно образца асфальтобетонного дорожного покрытия

Для установления влияния трех вышеперечисленных факторов на противогололедные свойства асфальтобетона и нахождения их оптимальных параметров был проведен планируемый многофакторный эксперимент.

В качестве функции отклика системы на изменение варьируемых факторов была выбрана величина касательного напряжения сдвига льда относительно асфальтобетонного образца. Таким образом, целевая функция имеет вид

$$\tau = f(v, t, T) \rightarrow \min. \quad (7)$$

где τ – касательное напряжение сдвига льда относительно поверхности образца асфальтобетона, Н/см², (y);

v – расход модификатора, л/м², (X₁);

t – температура смеси в момент введения модификатора, °С, (X₂);

T – время прошедшее после введения модификатора в асфальтобетонную смесь до ее уплотнения, мин, (X₃).

Анализ результатов планируемого эксперимента и расчет коэффициентов регрессии были осуществлены при помощи программы ПК.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 74,5460 - 98,9593X_1 - 0,5871X_2 + 0,0746X_1X_2 - 0,4500X_1X_3 + 72,6037X_1^2 + 0,0018X_2^2. \quad (8)$$

Все перечисленные выше факторы, а также взаимодействия между ними (коэффициенты типа В12, В13) существенно влияют на функцию отклика. Вид

полученного уравнения имеет нелинейный характер. Наиболее важным фактором является расход модификатора.

Выявлены оптимальные условия приготовления антигололедного слоя асфальтобетонного покрытия. Во всех случаях наилучшие антигололедные свойства верхнего слоя асфальтобетонного покрытия достигаются при расходе модификатора равном 0,55 – 0,65 л/м² (рис. 3, 4).

Из графиков видно, что при расходе модификатора 0,55 – 0,65 л/м² на антигололедные свойства асфальтобетонного слоя увеличение времени с момента розлива реагента до начала уплотнения асфальтобетонной смеси существенно влияет лишь до 1,5 мин. При этом касательное напряжение сдвига льда относительно антигололедного слоя уменьшается на 35%. Дальнейшее увеличение времени незначительно влияет на антигололедные свойства.

Температура асфальтобетонной смеси в момент введения в нее модификатора влияет на антигололедные свойства лишь при небольших величинах интервала времени до уплотнения асфальтобетонной смеси (до 1,5 мин). Так, при увеличении температуры со 130 °С до 150 °С, касательное напряжение сдвига льда уменьшается с 3,1 Н/см² до 1,5 Н/см² (при интервале времени 0,5 мин). При увеличении времени до уплотнения свыше 1,5 мин температура не оказывает заметного влияния.

Таким образом, уплотнение асфальтобетонной смеси рекомендуется начинать через 1,5 мин после введения модификатора.

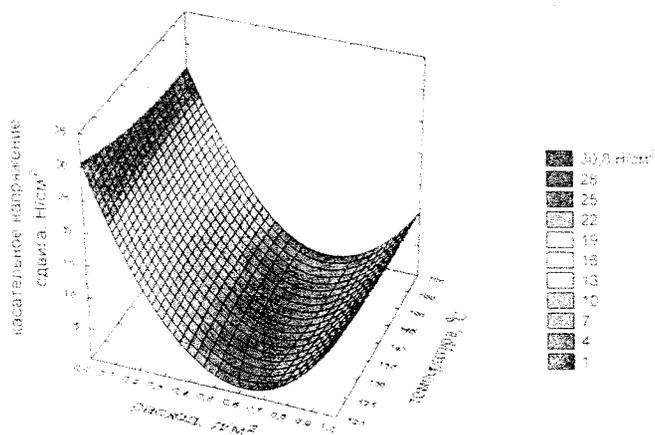


Рис. 3. Изменение значения касательного напряжения сдвига льда с асфальтобетона в зависимости от расхода модификатора и температуры асфальтобетонной смеси в момент введения модификатора при времени с момента введения модификатора до уплотнения смеси 2,5 мин

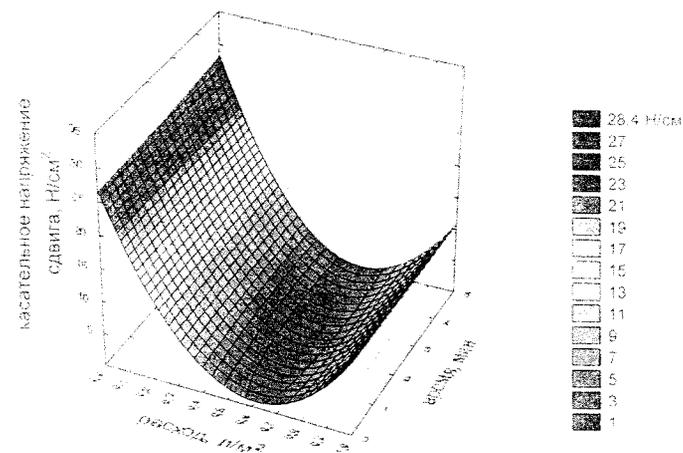


Рис. 4. Изменение значения касательного напряжения сдвига льда с асфальтобетона в зависимости от расхода модификатора и времени до уплотнения смеси, при температуре 140 °С

Расход модификатора обладает выраженным оптимальным значением (0,55-0,65 л/м²), дальнейшее повышение расхода приводит к ухудшению антигололедных свойств слоя асфальтобетонного покрытия. Например, при увеличении расхода с 0,6 л/м² до 1,0 л/м² касательное напряжение сдвига льда с обраба покрытия возрастает с 0,8 Н/см² до 11,2 Н/см² (в 14 раз). Этот факт объясняется тем, что после того, как необходимое количество модификатора прививается химически к силикатной поверхности минерального носителя, дальнейшее прибавление МИА-130 уже не приводит к химической реакции модификатора с реакционно-способными группами в виду отсутствия таковых. Гидрофобные радикалы молекул МИА-130 начинают адсорбироваться на гидрофобных участках, в результате чего наружу оказываются направленными гидрофильные участки этих молекул, притягивающие воду, что и приводит к снижению гидрофобности, а в результате и антигололедных свойств покрытия.

Эффективность работы модификатора при различных отрицательных температурах окружающего воздуха представлена в виде графика (рис. 5).

Из графика (рис. 5) видно, что температура окружающего воздуха заметно влияет на сцепление льда с асфальтобетонным покрытием. Так при температуре -3 °С на покрытии, обработанном модификатором, касательное напряжение сдвига льда с покрытия составляет 3 Н/см², а при -20 °С вырастает до 24 Н/см² (в 8 раз). В то же время, на необработанном модификатором покрытии при температуре -3 °С касательное напряжение сдвига льда достигает 32 Н/см² или в 10 раз больше, чем на обработанном модификатором покрытии.

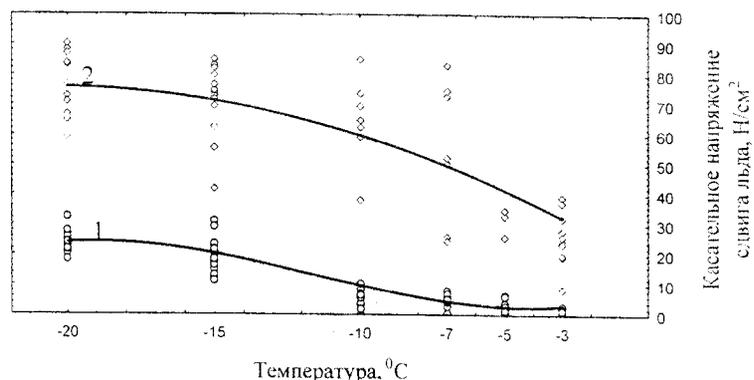


Рис. 5. Величина касательного напряжения сдвига льда с асфальтобетонного покрытия:

- 1 - покрытие, обработанное МПА-130;
- 2 - обычное асфальтобетонное покрытие

Следует отметить, что для образцов, не обработанных модификатором, наиболее характерно когезионное разрушение сцепления слоя льда с асфальтобетонным образцом. При этом на поверхности образца асфальтобетона остается тонкий слой льда. На образце антигололедного асфальтобетона отрыв слоя льда происходит со значительно меньшим усилием и по границе раздела лед-асфальтобетон без разрушения слоя льда.

Результаты определения показателей стандартных реологических характеристик битума до и после взаимодействия с модификатором МПА-130 представлены в табл. 2.

Таблица 2
Изменение показателей свойств битума в присутствии модификатора МПА-130

№ п/п	Наименование показателей	Значения для битума БНД 90/130		
		исходный	после взаимодейств. с МПА-130	требования ГОСТ 22245-90
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм:			
	при 25 °C	100	98	91-130
	при 0 °C	45	46	не менее 28
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °C	46	48	не ниже 43

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
3	Растяжимость, см при 25 °C при 0 °C	95 7,0	93 6,7	не менее 65 не менее 4,0
4	Температура хрупкости, °C	-27	-26	не выше -17
5	Индекс пенетрации	-0,5	+0,059	от -1,0 до +1,0
6	Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	3	4,2	не более 5

Анализ результатов показывает, что взаимодействие битума с модификатором МПА-130 не вызывает значительных изменений физико-механических показателей битума и ухудшения его качества. Физико-механические свойства битума после взаимодействия с модификатором соответствуют ГОСТ 22245-90.

Оценка влияния модификатора МПА-130 на физико-механические характеристики асфальтобетона производилась по основным критериям работоспособности асфальтобетонного покрытия, нормируемых ГОСТ 9128-97. Стандартные показатели физико-механических свойств асфальтобетона, обработанного реагентом, в сравнении с асфальтобетоном традиционного состава представлены в табл. 3.

Таблица 3
Влияние модификатора на физико-механические свойства асфальтобетона

Показатель	Без модификатора	С добавлением модификатора	Требования ГОСТ 9128-97 к АБ смеси типа Б I марки
R ₀ , МПа	6,2	6,3	не более 11,0
R ₂₀ , МПа	2,9	3,1	не менее 2,5
R ₅₀ , МПа	1,3	1,6	не менее 1,2
K _{вод}	0,91	0,94	не менее 0,9
K _{пл.вод}	0,83	0,84	не менее 0,85
Водонасыщение, %	1,75	1,52	1,5 – 4,0

Полученные результаты показывают, что модификатор МПА-130 не оказывает отрицательного воздействия на свойства асфальтобетонной смеси.

Результаты определения скорости коррозии в исследуемых коррозионных средах представлены в табл. 4.

Полученные показатели скорости коррозии металлических образцов свидетельствуют о том, что введение в асфальтобетонную смесь антигололедного модификатора МПА-130 практически не влияет на коррозионную активность дорожного покрытия по отношению к металлическим частям автомобилей и дорожных конструкций.

Основные выводы.

1. Разработана методика определения прочности сцепления льда с асфальтобетоном для оценки его противогололедных свойств.

2. Получено уравнение регрессии, оценивающее влияние на антигололедные свойства асфальтобетона расхода модификатора, температуры асфальтобетонной смеси и интервала времени с момента введения модификатора до начала уплотнения смеси.

3. Наибольший антигололедный эффект наблюдается при обработке асфальтобетонной смеси модификатором МПА-130 с расходом 0,55 – 0,65 л/м². При этом касательное напряжение сдвига льда относительно поверхности асфальтобетонного слоя снижается в 3,5 – 10 раз, что создает возможность удаления снежно-ледяных отложений механическим способом с помощью снегоуборочной техники.

4. Применение асфальтобетона с антигололедными свойствами в верхнем слое дорожного покрытия не освобождает дорожные службы от работ по снегоочистке покрытия после снегопадов и метелей.

5. Обработка асфальтобетонной смеси модификатором МПА-130 не приводит к ухудшению ее физико-механических свойств.

6. Устройство верхнего слоя дорожного покрытия из асфальтобетона, обработанного модификатором МПА-130, позволяет отказаться от обработки дороги песко-соляной смесью и другими фрикционными материалами, и исключает коррозионное воздействие на металлические части дорожных конструкций и автомобилей по сравнению с обработкой покрытия материалами, содержащими хлориды.

7. Применение МПА-130 не требует изменения в существующем технологическом процессе приготовления асфальтобетонных смесей на асфальтобетонных заводах.

8. Для производственного внедрения результатов диссертационной работы разработан технологический регламент на приготовление слоя антигололедного асфальтобетонного дорожного покрытия на основе гидрофобизирующего модификатора, не содержащего хлоридов. Сконструировано и изготовлено навесное оборудование к асфальтоукладчику для введения модификатора в слой асфальтобетонной смеси сразу после его укладки до уплотнения.

9. Новизна выполненных научных исследований подтверждена патентом на изобретение способа образования противогололедного слоя на автомобильной дороге (заявка № 2003121755, п.р. от 07.08.2004г). На его базе разработаны и изданы методические указания к выполнению лабораторных работ по определению сцепления льда с антигололедным дорожным покрытием, предназначенные для студентов очного и заочного обучения по специальности 260100 «Лесинженерное дело», специализация «Сухопутный транспорт леса»

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кудрявцев, А.В. Испытания противогололедного асфальтобетонного покрытия на силу адгезии со льдом при отрицательных температурах и аппарата для проведения опытов [Текст] / А.В. Кудрявцев // Научные труды / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2002. – Вып. 2. – С. 43-45
2. Кудрявцев, А.В. Установка для определения адгезии льда с дорожным покрытием [Текст] / А.В. Кудрявцев // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2003. – С. 335-336.
3. Кудрявцев, А.В. Борьба с гололедом путем гидрофобизации асфальтобетонного покрытия [Текст] / А.В. Кудрявцев // Материалы Российской научно-технической конференции / Материалы научн.-техн. конф. / Пермь: Перм. гос. техн. ун-т 2004. – С. 83 – 86.
4. Кудрявцев, А.В. Гидрофобизация дорожного покрытия для борьбы с гололедом [Текст] / А.В. Кудрявцев, С.И. Булдаков // Научное издание. Материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов УГЛТУ / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2004. – С. 98-101.
5. Кудрявцев, А.В. Гидрофобизированное дорожное покрытие для борьбы с гололедом [Текст] / А.В. Кудрявцев // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2005. – С. 200.
6. Кудрявцев, А.В. Выбор гидрофобизирующего модификатора для устройства асфальтобетонного дорожного покрытия с антигололедными свойствами [Текст] / А.В. Кудрявцев, Ю.Д. Силуков // Материалы всероссийской научн.-техн. конференции студентов и аспирантов / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2005. – С. 156.
7. Кудрявцев, А.В. Особенности устройства антигололедных покрытий в условиях Урала [Текст] / А.В. Кудрявцев, Ю.Д. Силуков // Автомобильные дороги и лесотранспорт : межвузовский сб. науч. тр. / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2005. – С. 97-102.
8. Кудрявцев, А.В. О сцеплении колес автомобиля с дорожным покрытием [Текст] / А.В. Кудрявцев // Автомобильные дороги и лесотранспорт : межвузовский сб. науч. тр. / Екатеринбург: Ур. гос. лесотехн. ун-т 2005. – С. 132-135.
9. Патент на изобретение способа образования противогололедного слоя на автомобильной дороге (заявка № 2003121755, п.р. от 07.08.2004г)

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Уральский государственный лесотехнический университет.

Ученому секретарю диссертационного совета
Тел.: (343) 262-96-18

620100 г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37. УГЛТУ ООП.
Подписано в печать: 05.05.2005. Объем 1.0 п.л. Заказ № 227. Тираж 100 экз.