

Б.Б. Анохин, С.П. Аржанухина

РОСДОРНИИ (г. Москва, Россия)

А.В. Кочетков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Рассматриваются принципы составления прогнозов состояния дорожного полотна. Даны рекомендации по сбору, обработке, хранению и использованию гидрометеорологической информации, специализированных прогнозов Росгидромета и специализированных прогнозов состояния поверхности дорожного полотна для организации и проведения дорожных работ.

***Ключевые слова:** прогноз погоды, гидрометеорологическая информация, дорожное полотно, зимнее содержание, термокартирование.*

В настоящее время совершенствование нормативно-методического обеспечения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог приобрело свою актуальность в сфере применения специализированных метеорологических прогнозов. ФГУП «РОСДОРНИИ», ЗАО «Минимакс-94», Воронежским ГАСУ было разработан отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия»*. В ОДМ дано разъяснение и определение принципов составления прогнозов состояния дорожного полотна, приведены рекомендации по сбору, обработке, хранению и использованию гидрометеорологической информации, специализированных прогнозов Росгидромета, а также специализированных прогнозов состояния поверхности дорожного полотна для организации и проведения дорожных работ.

* ОДМ 218.8.001–2009. Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия / Федер. дор. агентство (Росавтодор). М., 2010. 56 с.

На образование зимней скользкости на дорожном покрытии влияют следующие факторы:

- метеорологические (атмосферные): температура и влажность воздуха; осадки, их вид, количество и интенсивность выпадения;
- геофизические и ландшафтные (окружение по маршруту дороги): географическая высота, наличие растительности, водоемов), от которых зависит температурный режим поверхности дорожного полотна и условия накопления влаги, а также перенос и накопление снега.

Для детального учета погодных и дорожных условий все многообразие зимней скользкости на дорожном покрытии можно разделить на четыре основных вида: гололедица, черный лед, гололед, снежный накат. Классификация и условия образования различных видов зимней скользкости приведены в таблице.

Классификация различных видов зимней скользкости дорожных покрытий и условия их образования

Вид зимней скользкости	Температура воздуха, °С	Температура покрытия, °С	Осадки, их вид	Состояние покрытия	Дополнительные условия
Гололедица	Ниже 0	Ниже 0	Любые, выпадающие при температуре воздуха выше -3 °С	Мокрое	Выпадение осадков способствует образованию скользкости
	Выше 0	Ниже 0	Жидкие	–	–
	от 0 до -5	Ниже 0	Мокрый снег	–	Количество осадков, зафиксированное метеостанцией ($Q = 0$ мм)
Черный лед	То же	Ниже 0, ниже точки росы	Нет	Сухое	–
Гололед	Ниже 0	Ниже 0	Переохлажденные жидкие (дождь, морось)	Любое	–
Снежный накат	От 2 до 0	–	Твердые (снег, мокрый снег)	–	–
	От 0 до -6	–	То же	–	Интенсивность снегопада не менее 0,6 мм / ч
	От -6 до -10	–	То же	–	Относительная влажность воздуха не менее 90 %

Для организации работ по борьбе с зимней скользкостью важно учитывать метеорологические условия, предшествующие образованию каждого вида скользкости и наблюдающиеся после ее образования, а также иметь прогноз температуры воздуха на ближайшие 3–4 ч.

Планирование работ по борьбе с зимней скользкостью рекомендуется осуществлять исходя из прогнозируемых погодных условий, определяющих состояние дорожного покрытия и условия дорожного движения. Разделяют следующие виды специализированной метеорологической информации и прогноза состояния поверхности дорожного покрытия:

1. *Прогнозы погоды общего назначения*, предоставляемые Росгидрометом, содержащие оценку погоды в регионе. Данный вид прогноза может быть использован дорожными организациями для ориентировочного прогноза состояния поверхности дороги на ближайшее время. Планирование мероприятий и проведение работ по содержанию дорог должно осуществляться на основе гидрометеорологических прогнозов.

2. *Специализированный прогноз*. Включает в себя следующие данные: температуру воздуха; изменение температуры воздуха на ближайшие 3–4 ч; относительную влажность воздуха; изменение относительной влажности воздуха на ближайшие 3–4 ч; интенсивность и вид осадков; скорость и направление ветра; температуру поверхности дорожного покрытия; изменение температуры поверхности дорожного покрытия на ближайшие 3–4 ч. Прогноз должен составляться не менее чем на 3 ч и должен выполняться для районов пролегания автомобильной дороги или ее участков, которые входят в зону ответственности дорожной организации.

Заказ прогнозов осуществляется на платной основе в региональном подразделении Росгидромета или другой уполномоченной организации, обслуживающей территории, по которым проходит автомобильная дорога. В заказе должен быть указан способ передачи специализированного прогноза от регионального подразделения Росгидромета в дорожное подразделение.

Если дорога проходит по территориям, для которых должны быть составлены несколько специализированных прогнозов разными подразделениями Росгидромета и его организациями, заказчик должен определить форму согласования этих прогнозов.

Штормовое предупреждение предоставляется потребителям по заказу в территориальных организациях Росгидромета и должно быть разослано заблаговременно. Штормовое предупреждение считается действующим до момента получения уведомления: об окончании срока действия или отмене такого предупреждения, о следующем штормовом предупреждении. В случае отсутствия специализированных прогнозов допускается использование прогнозов, предоставляемых для отдельных географических пунктов (городов, поселков), расположенных на автомобильной дороге или вблизи нее.

Информацию о фактической погоде и прогнозах можно получать из открытых интернет-источников. Отдельные интернет-источники предоставляют метеорологическую информацию по предварительной заявке для определенных заказом географических пунктов. Официальная метеорологическая информация содержится только на официальных сайтах Росгидромета. Оценка возможности возникновения различных видов зимней скользкости на поверхности дорожного покрытия при наличии специализированного прогноза производится сотрудниками подразделений дорожной службы по данным приведенной таблицы.

Анализ метеорологической информации, предоставленной Росгидрометом или другими организациями, а также использование специализированной информации позволяет значительно повысить достоверность метеорологической информации и прогнозов возникновения опасных дорожных явлений. Более полную информацию о зонах распространения осадков можно получать в результате обработки данных, поступающих от метеорологических локаторов (МРЛ). МРЛ имеются в распоряжении Росгидромета и служб метеорологического обеспечения авиации. Информация предоставляется в ручном и автоматическом режимах, как правило, на платной основе. Для получения информации от МРЛ в автоматическом режиме в дорожной организации должно быть предусмотрено автоматизированное рабочее место (АРМ).

В случае отсутствия в регионе МРЛ можно использовать информацию о зонах распространения осадков, поступающую с метеоспутников. Однако анализ данных со спутников требует определенного опыта для получения достоверной информации об осадках в наблюдаемом регионе. Для грубой оценки допускается использование спутниковых снимков.

Для получения оперативной информации о метеорологических параметрах, необходимых для расчета прогноза состояния дорожного покрытия, должны использоваться пункты дорожного метеоконтроля, построенных на основе автоматических дорожных метеорологических станций (АДМС) с набором датчиков, измеряющих параметры атмосферы, датчиков состояния поверхности дорожного покрытия.

Набор датчиков в составе АДМС определяется: требованиями математических моделей алгоритмов и методов, которые используются системой метеорологического обеспечения для расчета прогнозов параметров погоды; экономической целесообразностью применения датчиков определенного вида в месте установки АДМС; необходимостью оперативного реагирования на изменение метеорологических условий и параметров состояния поверхности дорожного покрытия.

Обязательным для всех АДМС является наличие в их составе следующих датчиков: температуры воздуха; относительной влажности воздуха; температуры поверхности дорожного покрытия; температуры под поверхностью дорожного покрытия на глубине 4–7 см; состояния поверхности дорожного покрытия. Размещение АДМС вдоль автомобильной дороги должно определяться исходя из ландшафтных и климатических особенностей района прохождения автомобильной дороги, наличия подключения к системам передачи данных и системам энергообеспечения, а также исходя из особенностей термопрофиля автомобильной дороги на данном участке.

Расположение мачты АДМС относительно обочины дороги, датчиков на мачте и датчиков состояния поверхности дорожного покрытия определяется математическими моделями, методами и алгоритмами, используемыми для расчетов параметров погоды и расчета прогноза состояния поверхности дорожного покрытия, необходимостью точности прогнозов этих параметров. Мачта должна устанавливаться на расстоянии не более 6 м от обочины дороги. Датчики, установленные на мачте, рекомендуется располагать следующим образом: датчик температуры и влажности воздуха – на высоте от 2 до 4 м; датчик направления и скорости ветра – на высоте от 5 до 6 м; датчик осадков – на высоте от 5 до 6 м; датчик метеорологической дальности видимости – на высоте от 4 до 6 м.

Датчик состояния поверхности дорожного покрытия (ДВПД) устанавливается в верхний слой дорожного полотна таким образом, чтобы верхняя плоскость датчика дороги совпадала с поверхностью

дорожного покрытия. В этом случае жидкие или твердые отложения, которые присутствуют на поверхности, будут попадать на верхнюю плоскость ДВПД, на которой расположены его чувствительные элементы. В зависимости от ширины проезжей части устанавливается различное количество ДВПД. Датчики температуры поверхности дорожного покрытия и температуры под его поверхностью могут быть совмещены с ДВПД или устанавливаться отдельно. Они размещаются на поверхности дорожного покрытия и на глубине от 4 до 7 см и предназначены для измерения температуры в этих точках. Датчики должны иметь надежный тепловой контакт с материалом дорожного покрытия.

Расчет прогноза параметров погоды, температур дорожного покрытия и состояния дорожного покрытия производится по математическим моделям, алгоритмам и методам. Фактические и накопленные данные должны использоваться для расчета прогноза изменения метеопараметров в местах установки АДМС и на участках дороги между ними.

Математическая модель должна включать в себя следующую информацию: данные о термопрофиле дороги (данные термокартирования), топогеодезические данные дороги, ландшафтно-климатические данные.

Математическая модель должна обеспечивать: заблаговременный расчет параметров окружающей среды и параметров состояния поверхности дорожного покрытия, заблаговременную оценку расчетного коэффициента сцепления на всем протяжении маршрута дороги.

На основании анализа установленных метеорологических параметров и тенденций их изменения разрабатывается прогноз об изменениях состояния дорожного покрытия. Для получения прогноза высокой степени оправдываемости информация от пунктов дорожного метеоконтроля должна поступать периодически с постоянным интервалом времени: в зимнее время интервал должен составлять 30 мин, в летнее время – до 3 ч.

Прогноз параметров окружающей среды вблизи АДМС должен обновляться после каждого цикла опроса АДМС и получения от нее информации. Типичный вид представления информации от пунктов дорожного метеоконтроля после обработки данных и расчета прогноза по указанным параметрам окружающей среды представлен на рис. 1.

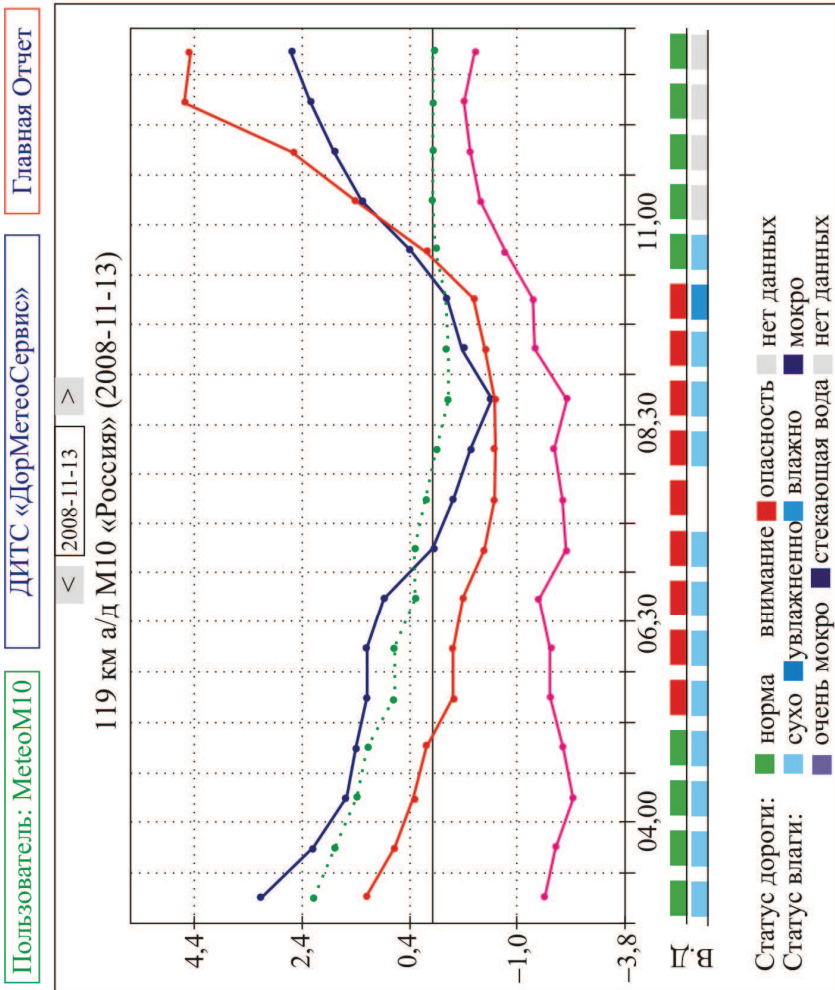


Рис. 1. Вид информации, передаваемой с пунктов дорожного метеоконтроля

Прогноз параметров окружающей среды должен предсказывать возможность появления скользкости на поверхности дорожного покрытия не менее чем за 3 ч до возникновения этого явления.

Дорожные организации при подготовке метеопрогноза должны использовать следующую информацию: от Росгидромета; от других организаций, имеющих лицензию Росгидромета, предоставляющих прогнозную информацию; от патрульных машин ДЭП; от дорожной информационной технологической системы или отдельных ее элементов.

На основании полученных данных должен производиться анализ изменения отдельных элементов погоды и тенденций их изменения на ближайшие 3–4 ч. Затем проводится совместный анализ полученной гидрометеорологической информации применительно к схеме дороги, на которой выделены опасные места («холодные пятна», спуски и подъемы дороги, повороты и перекрестки, места концентрации ДТП).

На основании анализа параметров погоды и тенденций их изменения можно сделать заключение о возможности возникновения зимней скользкости на автомобильной дороге.

Информацию от дорожных метеорологических систем следует учитывать в качестве основной при подготовке прогноза и разработке плана мероприятий по зимнему содержанию автомобильной дороги. Погодные условия оказывают влияние на условия движения транспортных средств и проведение работ по содержанию дорог. Предложены критерии степени влияния метеорологических факторов на условия движения и критерии степени влияния погодных условий на состояние дорожного покрытия.

Перечень и критерии неблагоприятных, а также опасных метеорологических явлений для организаций дорожного хозяйства должны определяться в договоре о предоставлении гидрометеорологической информации между организацией, предоставляющей такую информацию, и дорожной организацией, и зависят от климатических, метеорологических, ландшафтных особенностей района пролегания дороги.

При оценке времени выработки решения, подготовки и проведения работ по нейтрализации неблагоприятных погодных явлений в зоне ответственности дорожного подразделения необходимо учитывать следующее:

- время получения информации: от Росгидромета; от других организаций, имеющих лицензии Росгидромета, предоставляющих прогнозную информацию; от ДИТС АСМО (автоматизированная

система метеорологического обеспечения), пунктов дорожного метеоконтроля или отдельных АДМС; от патрульных машин и сотрудников дорожного подразделения, находящихся на дороге;

- время, необходимое для обработки информации;
- время, необходимое для принятия решения (в зависимости от характера прогноза состояния дорожного полотна решение на выполнение мероприятий по содержанию дороги должно учитывать: время начала работ; адреса и протяженность участков дороги, подлежащих обработке; тип противогололедного материала (ПГМ); расход ПГМ для каждого участка автомобильной дороги, подлежащего обработке);
- время, необходимое для передачи информации о решении в производственный отдел или другое производственное подразделение;
- время на подготовку дорожной техники и доставку ее от места стоянки до места производства работ;
- время производства работ.

При выполнении работ по оценке состояния дорожного покрытия (оценке коэффициента сцепления) используются прогнозы погоды общего назначения, специализированный прогноз, разработанный по заказу дорожной организации, данные пунктов дорожного контроля, оборудованных АДМС и видеокамерами. Рекомендуется использовать информацию, получаемую от МРЛ для определения зон (территории) распространения осадков. Более точные сведения дает датчик осадков, входящий в состав АДМС. Благодаря совместному использованию информации от датчика осадков и сведений об осадках, полученных от МРЛ, получают достаточно точную картину о продолжительности и количестве выпавших осадков на поверхность автомобильной дороги и прогнозируемых осадках.

Алгоритм составления прогноза при отсутствии оперативной информации от АДМС. При наличии в дорожной организации только специализированной метеорологической информации для расчета прогнозов возникновения скользкости на поверхности дорожного покрытия можно использовать алгоритм производственно-технологических предупреждений (ПТП).

При составлении прогноза в случае, когда в метеосводке указано отсутствие осадков, с угрозой возникновения скользкости, используется следующая зависимость:

$$Y = 5,659 - 0,170T_B - 0,071W, \quad (1)$$

где Y – величина скользкости; T_B – температура воздуха, °C; W – относительная влажность воздуха, %.

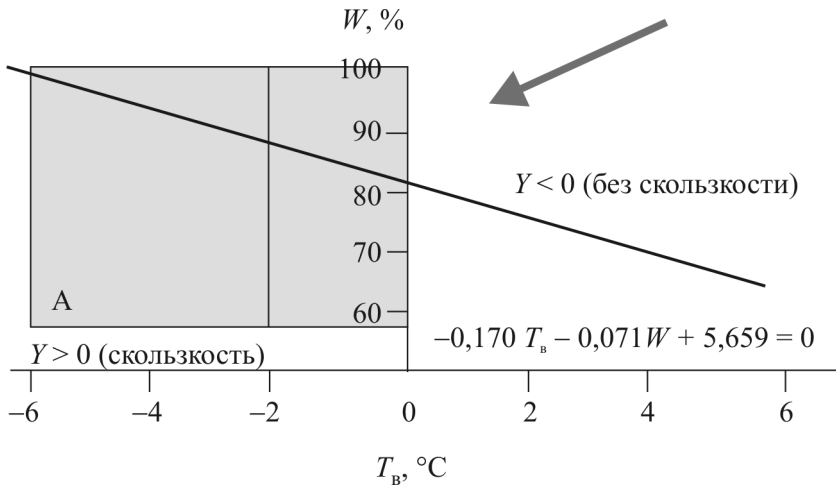


Рис. 2. Геометрическая интерпретация ПТП образования гололедицы

Предлагаемая зависимость, интерпретация которой представлена на рис. 2, разделяет значения параметров T_B и W на классы «скользкость» и «без скользкости» таким образом, что по знаку функции (1) можно прогнозировать отсутствие или наличие гололедицы. Сочетание параметров, для которых знак функции будет положителен, допустимо и в зонах, где образование гололедицы невозможно физически, т.е. при низких значениях относительной влажности воздуха и положительных температурах воздуха. Для ПТП будем использовать рабочую зону графика, которую рассчитаем по интегральным функциям теоретических законов распределения случайных величин. Границы рабочей зоны с 95%-й обеспеченностью для выбранных параметров составят:

$$-1,8 \leq T_B \leq 0,0; \quad 60 \leq W \leq 100.$$

Из-за остатков хлоридов покрытие может оставаться влажным и при более низких температурах. Обработка данных о минимальных температурах воздуха в дни с мокрым дорожным покрытием показала, что этот диапазон составляет

$$-6,0 \leq T_B \leq -0,5.$$

Следовательно, границы рабочей зоны по оси температур воздуха могут быть расширены. Рабочая зона графика выделена прямоугольником А (см. рис. 2).

Несмотря на то, что ряд параметров, влияющих на образование гололедицы, не учтен явно в уравнении (1), пользоваться графиком нужно в том случае, если дорожное покрытие мокрое, и прогнозируется следующая тенденция изменения метеорологических параметров (по данным прогноза Росгидромета или другой организации): рост атмосферного давления; понижение температуры воздуха; понижение относительной влажности воздуха. Последнее условие изображено стрелкой, показывающей направление изменения параметров при их переходе в рабочую зону, в которой происходит разделение двух классов «гололедица» и «без гололедицы» с помощью прямой линии, описываемой уравнением (1).

Для случая гололеда и твердого налета (при прогнозировании осадков) функция для двух метеорологических параметров имеет вид

$$Y = 0,092T_{\text{в}} + 0,104W - 9,14, \quad (2)$$

график ее представлен на рис. 3.

Рабочей зоной графика является зона наиболее вероятных значений параметров в момент образования скользкости данных видов. Диапазоны их изменения получены с помощью интегральных функций, рассчитанных по законам распределения с 95%-й надежностью:

$$-5,2 \leq T_{\text{в}} \leq 2,0; \quad 87 \leq W \leq 100.$$

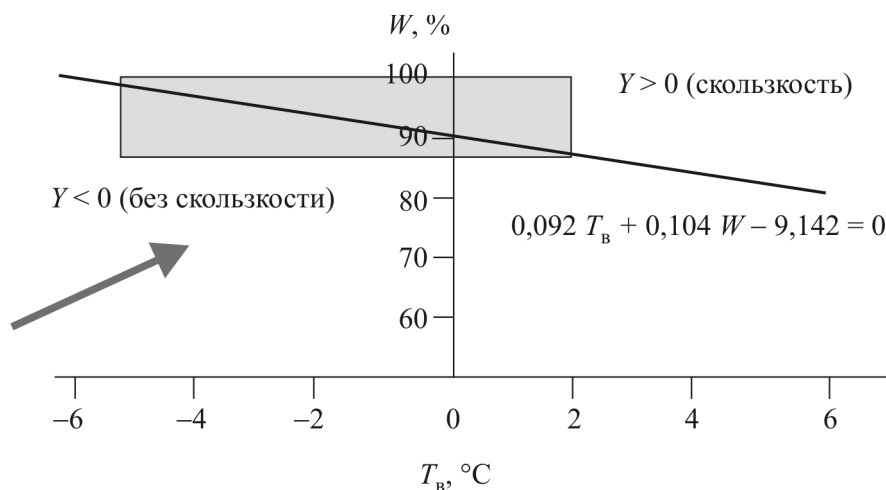


Рис. 3. Геометрическая интерпретация ПТП образования гололеда

Данный график рекомендуется применять в тех случаях, когда при морозной погоде с температурой воздуха ниже $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ прогнозируются: повышение температуры воздуха; выпадение жидких осадков; понижение атмосферного давления; повышение относительной влажности воздуха.

Последнее условие изображено стрелкой, показывающей направление изменения параметров при образовании данных видов скользкости.

Зависимости, изображенные на рис. 2 и 3, вычислены по метеорологическим параметрам, зафиксированным в момент возможного начала образования скользкости. Для получения ПТП обледенения дорожного покрытия при помощи таких зависимостей необходимо сначала спрогнозировать температуру и относительную влажность воздуха на срок заблаговременности прогноза, используя их текущие значения этих параметров из информации общего прогноза. Для составления прогноза этих показателей на срок не более 4 ч можно использовать линейный закон, на основе данных о средней скорости их изменения. При наличии АСМО на дороге оценка состояния дорожного покрытия производится по данным, получаемым в автоматическом режиме от дорожных метеорологических станций и постов видеоконтроля.

Благодаря АСМО или ее элементам осуществляется сбор, накопление и предоставление информации о фактической погоде и параметрах поверхности дорожного покрытия.

При помощи видеосистем получают изображение поверхности дорожного покрытия, что используется для качественного анализа его состояния.

Прогноз параметров погоды, состояния поверхности дорожного покрытия и оценка расчетного коэффициента сцепления (трения) производятся в системе АСМО в два этапа.

Первый этап – прогнозирование параметров погоды и параметров состояния поверхности дорожного покрытия в месте установки АДМС. Прогноз первого этапа рассчитывается не менее чем на 3 ч с шагом не более 1 ч. Прогноз содержит числовые значения: температуры воздуха, относительной влажности воздуха, температуры поверхности дороги, температуры под поверхностью дороги.

Второй этап – прогнозирование для участков поверхности дороги, находящихся между местами установки АДМС. Для расчета данного типа прогнозов рекомендуется применять локальную математическую модель, которая должна заключать в себе подробное описание ландшафтных, климатических и геодезических особенностей участков

территории прохождения дороги, данные о термокартировании (термопрофиле) участка поверхности дорожного покрытия, для которого производится расчет.

Результаты расчета прогноза в АСМО должны быть представлены в наглядной форме на стилизованной карте. Прогноз кодируется цветом и отображается на линии маршрута дороги. Пример представления прогноза приведен на рис. 4.

Красным цветом выделены участки дороги с ожидаемыми опасными явлениями в течение срока прогноза (не менее 3 ч), зеленым – участки, где опасные явления не прогнозируются в течение срока прогноза, желтым цветом – участки, на которых прогнозируемые параметры погоды и прогнозируемые параметры состояния поверхности дорожного покрытия находятся на границе критических значений, а тенденции их изменения указывают на то, что следует ожидать возникновения опасных явлений в течение ближайшего времени после истечения срока действующего прогноза.

Прогнозирование параметров погоды и параметров поверхности дорожного покрытия осуществляется на срок 3 ч и более.

Прогноз параметров погоды и параметров поверхности автомобильной дороги для места установки АДМС (первый этап) рассчитывается после окончания каждого цикла получения данных от АДМС, для каждой АДМС отдельно. Прогноз параметров погоды и параметров поверхности дорожного покрытия рассчитывается для участка автомобильной дороги (второй этап) после окончания цикла получения данных от АДМС, расположенных в одной ландшафтной зоне. Возможна установка дистанционных датчиков состояния поверхности дорожного покрытия.

Такие датчики, работа которых основана на принципе спектроскопического измерения, позволяют определять наличие на поверхности дорожного покрытия: воды, льда, слякоти, снега или обледенения. При помощи датчиков можно выявить наличие первых кристаллов льда до того, как поверхность автомобильной дороги становится скользкой. Наличие воды может также служить предупреждением о гидропланировании. Датчик устанавливается на отдельной стойке рядом с автомобильной дорогой или как дополнение к дорожной метеостанции. Места расположения АДМС или дистанционных датчиков состояния поверхности дорожного покрытия рекомендуется наносить на схему автомобильных дорог ОУДХ.

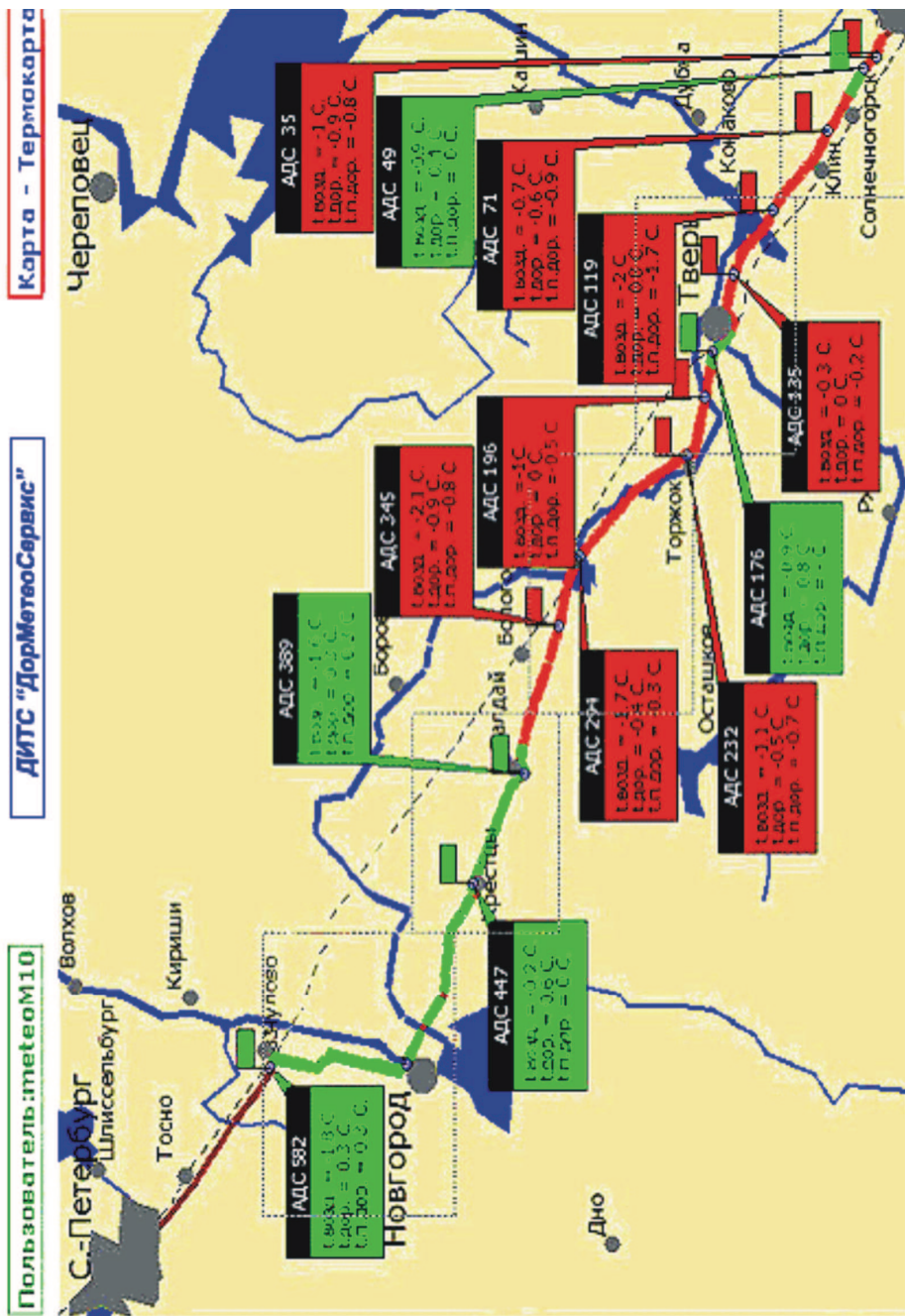


Рис. 4. Прогноз состояния поверхности дороги между АДМС на 4 ч

На основании анализа текущих и прогностических данных, а также ландшафтных, климатических и геофизических данных рекомендуется оценивать расчетный коэффициент сцепления и степень опасности участков автомобильной дороги для движения транспортных средств.

В ОДМ 218.8.001–2009 приведены коэффициенты относительного влияния изменения температуры воздуха и его относительной влажности на состояние величины скользкости (коэффициента сцепления). Данная методика определения параметров алгоритма прогноза может быть использована для различных климатических зон с учетом качественных и количественных показателей дорожных условий.

Широкое внедрение разработанных рекомендаций позволит повысить уровень зимнего содержания автомобильных дорог за счет своевременной информации об изменении метеоусловий и проведения необходимых профилактических работ.

Получено 28.02.2012