

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д-р техн. наук, профессор **Т.В. Самодурова**,
канд. техн. наук, доцент **О.В. Гладышева**,
канд. техн. наук **Н.Ю. Алимова**,
канд. техн. наук **Ю.В. Бакланов**
(Воронежский государственный
технический университет (ВГТУ))
Контактная информация: samodurova@vgasu.vrn.ru;
ov-glad@ya.ru;
natalimowa@ya.ru;
baklanovmail@mail.ru

Рассмотрены перспективы использования технологий информационного моделирования при решении задач зимнего содержания дорог. Представлена схема использования информационных ресурсов для управления работами по содержанию дорог. Сделан вывод о возможности использования результатов исследований в области информационного моделирования. Приведены основные математические модели, разработанные для решения задач снегозащиты, расчета температуры и оценки состояния дорожного покрытия в зимний период. В жизненном цикле дорог они могут быть использованы на этапе эксплуатации автомобильных дорог для организации оперативного управления работами по зимнему содержанию. Представлены результаты исследований по проблемам зимнего содержания, которые проводятся в Воронежском государственном техническом университете на кафедре проектирования автомобильных дорог и мостов, и реализация этих результатов в отраслевых нормативных документах.

Ключевые слова: информационное моделирование, автомобильные дороги, зимнее содержание, снеготранспортируемый участок, зимняя скользкость, математическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы обеспечения безопасности движения на автомобильных дорогах и городских улицах всегда были актуальны. В настоящее время этим вопросам придается особое значение, и в перечень 12 стратегических направлений новых национальных проектов на период до 2024 г.

входит проект «Безопасные качественные дороги», которым предусмотрен ряд мероприятий по повышению безопасности движения, профилактике возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и снижению смертности при ДТП.

Для реализации задач, поставленных в национальном проекте, предполагается развитие и широкое использование информационных технологий, в том числе и для управления дорожным хозяйством.

Сложность управления автомобильными дорогами обусловлена рядом факторов. Один из них – значительная линейная протяженность объектов, изменчивость конструктивных элементов (план трассы, продольный и поперечный профили, конструкция дорожной одежды); наличие искусственных сооружений и элементов инженерного обустройства. Кроме того, вдоль трассы изменяются рельеф, придорожная ситуация, геологические, гидрологические условия.

Другой, не менее значимый фактор – влияние на условия и безопасность движения погодных-климатических параметров, что наиболее серьезно проявляется в зимний период. Отдельные участки дорог подвергаются снежным заносам во время метелей, различные виды зимней скользкости снижают сцепные качества покрытия, что приводит к снижению безопасности движения и росту количества ДТП [1].

Для поддержания высоких потребительских свойств дорог дорожно-эксплуатационные организации проводят комплекс работ по их содержанию. Наиболее сложно организовать такие работы в зимний период. Из-за неопределенности ожидаемых погодных условий и степени их воздействия на состояние дорожного покрытия без специальной информации достаточно трудно выбрать наиболее эффективную технологию проведения работ и организовать защитные мероприятия по недопущению снежных заносов.

Для эффективной организации работ необходимо проанализировать достаточно большой объем информации, которая содержит описание особенностей конкретного участка дороги, имеющихся ресурсов для проведения работ и внешних воздействующих погодных факторов. Развитие цифровых технологий позволяет более эффективно решать задачи обеспечения информацией, производственные процессы при зимнем содержании дорог.

Приоритетным направлением цифровизации дорожного хозяйства, как и строительной отрасли в целом, является внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ), в основе которых лежат разработка и использование информационной модели объекта, создаваемой на ранних этапах проекта, развивающейся и пополняемой информацией в процессе его жизненного цикла и используемой в зависимости от решаемых задач [2, 3].

Развитие таких технологий для автомобильных дорог находится на начальном этапе. Наиболее серьезные решения получены на стадиях изысканий и проектирования транспортных сооружений с использованием САПР. Получаемая на выходе цифровая информационная модель (ЦИМ) дороги пригодна для использования на последующих этапах жизненного цикла – при строительстве и эксплуатации [4].

Основное назначение информационных моделей в системе управления автомобильными дорогами на стадии эксплуатации – поддержка процессов принятия обоснованных управленческих и инженерных решений. Для дорожных эксплуатационных организаций в зимний период – планирование, организация и учет работ по содержанию.

В настоящее время все чаще используется такое понятие как «цифровой двойник». Такого термина нет в нормативной литературе, но, например, разработчики программного обеспечения под этим термином понимают виртуальную копию реального объекта, которая в режиме реального времени отражает его состояние. В общем виде это программа, которая описывает определенные процессы, происходящие с объектом и внешние воздействия с помощью математики. Информация о текущем состоянии объекта и внешней среды поступает с датчиков в режиме реального времени [5].

В статье приведены математические модели, которые могут быть использованы при разработке «цифровых двойников» дороги на стадии эксплуатации. Интеллектуальные транспортные системы, развивающиеся на автомобильных дорогах, включают в свой состав подсистему мониторинга метеорологической обстановки [6]. Информация, которая поступает с автоматических дорожных метеостанций и датчиков состояния дорожного покрытия практически в режиме реального времени, может быть использована в качестве входной информации для моделей.

Управление зимним содержанием дорог с использованием информационных моделей

На кафедре проектирования автомобильных дорог и мостов ВГТУ много лет ведутся исследования по проблемам зимнего содержания дорог, разработаны различные методики и модели, пригодные для применения на этапе эксплуатации для управления работами по зимнему содержанию дорог.

Рассмотрим возможность использования результатов проведенных и проводимых исследований при решении задач зимнего содержания дорог с использованием технологий информационного моделирования.

Согласно существующей терминологии, под информационной моделью (ИМ) понимается совокупность представленных в электронном виде графических и текстовых данных по объекту, содержащих единый достоверный источник информации о нем на всех или отдельных этапах жизненного цикла.

Основная цель управления транспортными объектами на этапе содержания может быть определена как обеспечение сохранности и работоспособности дороги и дорожных сооружений и поддержание их транспортно-эксплуатационного состояния в соответствии с требованиями, допустимыми по условиям обеспечения непрерывности и безопасности дорожного движения в любой период года. Наличие достоверной информации об участке дороги и параметрах внешней среды позволяет оценить его эксплуатационное состояние, прогнозировать его в будущем, выбрать оптимальные технологии проведения работ по содержанию.

При зимнем содержании дорог из-за воздействия внешней среды и необходимости анализировать большой объем данных важно рассматривать управление с позиций обеспечения информацией. В этом случае обобщенная схема управления может быть представлена в виде, отражающем взаимодействие нескольких подсистем [7]: информационно-измерительной, информационно-справочной и телекоммуникационной (системы связи). Схематично взаимодействие подсистем представлено на **рис. 1**.

В соответствии с поставленной целью программа управления включает параметры, обеспечивающие поддержание необходимого уровня содержания для дорог различных категорий. Таким образом, информационно-справочная подсистема содержит данные о нормативном состоянии объекта (ГОСТы, СП, ОДМ и т.д.).

Субъектами управления являются дорожные эксплуатационные организации, осуществляющие планирование, организацию и выполнение работ по зимнему содержанию дорог и искусственных сооружений, которые являются объектами управления.

Необходимость применения управляющих воздействий в виде работ по зимнему содержанию обусловлена функционированием объекта управления во внешней среде под воздействием возмущающих погодных факторов, влияющих на состояние дорожного покрытия и формирование на нем различных видов зимней скользкости и снежных заносов.

В зависимости от обстановки, сложившейся на объекте управления и в окружающей его среде в определенный момент времени, возникает необходимость проведения комплекса работ по ликвидации или профилактики зимней скользкости. Управляющая подсистема должна

обеспечивать выбор оптимальных управляющих воздействий на основе анализа всей имеющейся информации.

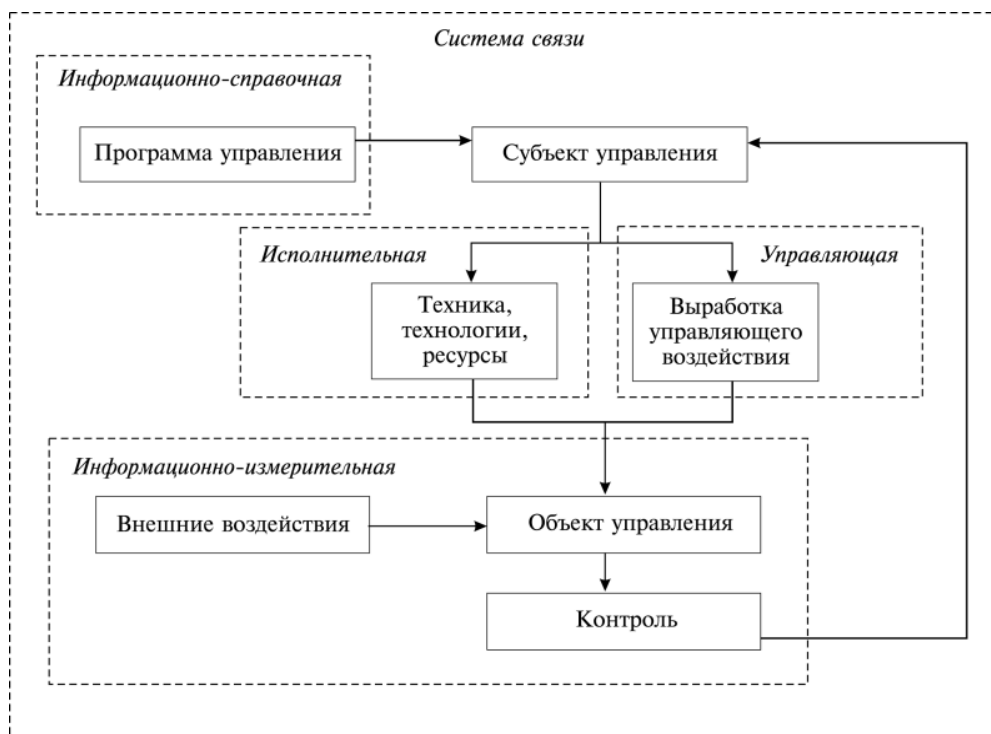


Рис. 1. Управление дорогами на этапе содержания (информационный аспект)

Для получения информации о внешних погодных воздействиях и фактическом состоянии объекта управления (состояние дорожного покрытия) необходима информационно-измерительная подсистема. Измерение параметров внешней среды не только описывает фактическую ситуацию, сложившуюся на объекте управления, но и позволяет при проведении расчетов по определенным алгоритмам прогнозировать ее изменение. Источником информации в данном случае выступают автоматические дорожные метеостанции или математические модели, имитирующие их работу.

Одной из основных функций управления при зимнем содержании дорог является контроль. Его условно можно разделить на пассивный (производится дискретно по окончании работы) и активный, который проводится постоянно с помощью датчиков состояния дорожного покрытия, входящих в информационно-измерительную подсистему.

Эффективное оперативное управление невозможно без надежной связи для передачи информации между подсистемами и фиксации результатов управления на основе обратной связи, т.е. обеспечения необходимого контроля.

С позиций информационного моделирования в качестве автомобильной дороги как объекта управления выступает ее информационная модель.

Если рассматривать конкретный участок дороги как элемент цифровой информационной модели, то для задач зимнего содержания дорог можно выделить геометрические данные и конструкцию дорожной одежды. Эта информация используется в разработанных математических моделях.

Рассмотрим основные модели, которые разработаны в Воронежском государственном техническом университете (ВГТУ) и могут использоваться для оценки состояния дороги в зимний период:

1. *Динамическая математическая модель, описывающая процессы снегонакопления на снегозаносимых участках дорог, в общем виде [8]:*

$$Q_{отл}(t) = f[Q_{сип}(t); Q_{мет}(t); Q_{уб}(t); Q_{ном}(t); t] , \quad (1)$$

где

$Q_{сип}$ – объем снега, выпавший при снегопадах, м³/м;

$Q_{мет}$ – объем снега, принесенный при метелях, м³/м;

$Q_{уб}$ – объем снега, перемещенный с проезжей части и обочин на откосы и в кюветы выемки при патрульной снегоочистке, м³/м;

$Q_{ном}$ – объем потерь снега под действием погодных факторов, м³/м;

t – время, ч.

Каждая из составляющих модели зависит от множества факторов и рассчитывается в зависимости от их значений.

Все факторы, влияющие на эксплуатационное состояние снегозаносимого участка, можно разделить на внутренние (дорожные) и внешние (описывающие состояние окружающей среды) [7]. Для мониторинга процессов снегонакопления дорожные параметры представлены в виде геометрической модели, описывающей поперечный профиль земляного полотна. Состояние окружающей среды описывается моделью распределения параметров метелей по территории (цифровые модели распределения параметров метелей, карты) [9].

2. Для моделирования состояния дорожного покрытия разработана динамическая модель расчета температурного режима конструкции дорожной одежды для решения одномерной задачи нестационарной теплопроводности. В общем виде уравнение теплопроводности имеет вид:

$$c\rho \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \right] + q \quad , \quad (2)$$

где

$T(x, t)$ – температура в дорожной конструкции или грунте земляного полотна на глубине x в момент времени t , °C;

q – плотность теплового потока в конструкции, Вт/м², с условием на границе фазового перехода в грунте земляного полотна.

$$\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=H_\phi} - \lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=H_\phi} = Q\rho \frac{\partial H_\phi}{\partial t} \quad , \quad (3)$$

где

$H_\phi = H_\phi(x, t)$ – подвижная граница фазового перехода, м;

Q – скрытая теплота плавления льда, кДж/кг.

Так как дорожная конструкция многослойна и состоит из различных материалов, уравнение (2) преобразуется в систему уравнений [7] и дополняется начальными и граничными условиями.

На поверхности дорожного покрытия происходит сложный теплообмен, определяемый граничными условиями II рода, при которых задана интенсивность теплового потока и III рода с определением условий теплообмена с окружающей средой:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha [T_n(t) - T_s(t)] + \rho_n q_n \quad , \quad (4)$$

где

ρ_n – коэффициент поглощения дорожным покрытием радиации;

q_n – интенсивность падающего на покрытие излучения, Вт/м².

Второе граничное условие принято из предположения постоянства температуры на некоторой глубине затухания амплитуды температурных колебаний:

$$T(H,t)=T_z=const . \quad (5)$$

Начальная температура $T(x,0)$ в любой точке x по глубине конструкции определяется из решения стационарной задачи:

$$T(x,0) = T_{в.ср} + (T_z - T_{в.ср})(R_n + \Sigma R_x)/R , \quad (6)$$

где

$T_{в.ср}$ – температура воздуха средняя за период Δt , °С;

R_n – тепловое сопротивление, характеризующее теплообмен покрытия с воздухом, (м²·К)/Вт;

ΣR_x – тепловое сопротивление слоев, расположенных выше глубины x , (м²·К)/Вт;

R – суммарное тепловое сопротивление всех слоев дорожной конструкции и земляного полотна до глубины H , (м²·К)/Вт.

Рассчитанная температура дорожного покрытия входит в качестве параметра в логические модели, оценивающие состояние дорожного покрытия [7, 10].

Уравнения (2) – (6) являются фактически «виртуальным» датчиком температуры дорожного покрытия, который может использоваться на тех участках дороги, где нет физических датчиков. Такая концепция была предложена швейцарской фирмой Бошунг [11].

3. *Математические модели, описывающие различные виды зимней скользкости, представлены в виде логико-математических соотношений, описывающих условия образования каждого из видов зимней скользкости.* Результатом логического исчисления могут быть два значения «истина» или «ложь», содержательное значение которых интерпретируется как «при имеющемся сочетании параметров, образование скользкости данного вида возможно» или «при имеющемся сочетании параметров, образование скользкости данного вида невозможно»:

– для гололедицы:

$$(T_e < 0) \& (T_n < 0) \& (SP = \text{влажное}) \& (t_{нд} \leq 12) \& (OS = \text{нет}) ; \quad (7)$$

– для черного льда:

$$(T_e < 0) \& ((T_n < 0) \& (T_n < T_d)) \& (SP = \text{сухое}) \& (OS = \text{нет}) ; \quad (8)$$

– для твердого налета:

$$((T_e > 0) \& (T_n < 0) \& (OS = \text{жидкие})) \vee ((-5 < T_e < 0) , \quad (9) \\ \& (T_n < 0) \& (OS = \text{мокрый снег}) \& (q = 0)) ;$$

– для гололеда:

$$(T_e < 0) \& (T_n < 0) \& (OS = \text{жидкие переохлажденные}) , \quad (10)$$

где

T_e – температура воздуха;

T_n – температура дорожного покрытия;

T_d – точка росы;

$t_{нд}$ – время последнего действия осадков;

OS – вид осадков;

SP – состояние дорожного покрытия;

q – количество осадков.

Дальнейшее уточнение соотношений (7) – (10) позволяет решать задачу расчета цикличности работ по зимнему содержанию [10, 12].

Наличие математических моделей, описывающих состояние дороги в зимний период, а также исследования информационных ресурсов для управления работами по зимнему содержанию [13] создают реальные предпосылки для проведения дальнейших исследований в направлении внедрения технологий информационного моделирования для решения задач зимнего содержания дорог и управления работами на этапе эксплуатации.

Результаты исследований по зимнему содержанию дорог

Приведенные выше математические модели разрабатывались с участием аспирантов кафедры ВГТУ. Полученные результаты внедрены в виде методик в нормативные документы. Разработанные методики и расчетные модели прошли проверку на адекватность на опытных снегозаносимых участках дорог [14]. Для их реализации разработано специальное программное обеспечение.

К основным направлениям исследований по снегозаносимости дорог можно отнести следующие:

- разработку методики расчета объемов снегоприноса к автомобильным дорогам и оценка снегозаносимости участков дорог с различными геометрическими параметрами поперечного профиля;
- картографирование территорий по расчетным параметрам метелевой деятельности с разработкой рекомендации по использованию карт для проектирования вариантов снегозащиты;
- мониторинг снегозаносимых участков дорог в зимний период;
- моделирование накопления снежных отложений на участках автомагистралей с барьерными отложениями.

Основные методические результаты этих исследований изложены в отраслевых нормативных документах: «Методические рекомендации по разработке проекта содержания автомобильных дорог», ОДМ 218.3.023-2003 «Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах», ОДМ 218.5.001-2008 «Методические рекомендации по защите и очистке автомобильных дорог от снега», ОДМ 218.2.045-2014 «Рекомендации по проектированию лесных снегозадерживающих насаждений вдоль автомобильных дорог».

Практическая реализация результатов исследований нашла свое отражение в научно-исследовательской работе, которая выполнялась по государственному контракту № ФДА 47/475 «*Исследование распределения параметров метелевых заносов по территории с разработкой атласа с расчетными объемами снегоприноса и рекомендаций по проектированию снегозащитных мероприятий (на примере Центрального Федерального округа РФ)*». Картографирование проведено для 17 областей Центрального федерального округа (ЦФО): Белгородской, Брянской, Владимирской, Воронежской, Ивановской, Калужской, Костромской, Курской, Липецкой, Московской, Орловской, Рязанской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Тульской и Ярославской. Для расчетов использовались данные 121 метеостанции Государственной сети, действующие в перечисленных областях. Результаты работы представлены в виде специального атласа, содержащего около 300 карт [15].

Так как атлас включает большое количество карт, начаты работы по автоматизации процессов их хранения в специальных базах данных, организации удобного доступа к нужным картам, а также расчетов по проектированию вариантов снегозащиты [16].

Второе направление исследований по зимнему содержанию дорог связано с развитием систем погодного мониторинга и решением задач управления работами по зимнему содержанию дорог [7].

Такие научные исследования связаны с:

- развитием информационных систем дорожного погодного мониторинга;
- моделированием состояния дорожного покрытия на основе расчета его температуры и учета режима выпадения осадков;
- разработкой методики расчета цикличности работ по зимнему содержанию дорог.

Основная задача заключается в разработке моделей для прогнозирования образования зимней скользкости для малого временного периода, достаточного для профилактической обработки покрытия противогололедными реагентами. Прогноз с малой заблаговременностью позволяет получить производственно-технологическое предупреждение для службы эксплуатации. На практике такие предупреждения позволяют реализовать технологии профилактики для предотвращения образования зимней скользкости, сократить количество противогололедных реагентов в 6-8 раз. При этом покрытие остается мокрым, а не скользким, что снижает риск возникновения ДТП.

Превентивные технологии при борьбе с зимней скользкостью широко используются во всех странах, где в зимний период возможно её образование. Для реализации таких технологий необходимы технические средства для сбора погодной и дорожной информации, специальное программное обеспечение для обработки этой информации практически в режиме реального времени и выдачи по результатам специальных расчетов предупреждений о возможном образовании зимней скользкости и рекомендаций по технологии проведения работ.

Исследования, проводимые в данном направлении, позволили сформулировать концептуальные подходы к созданию таких систем в России. Результаты исследований использованы при разработке отраслевых дорожных методик ОДМ 218.8.001-2009 «Методические рекомендации по специализированному гидрометеорологическому обеспечению дорожного хозяйства», ОДМ 218.2.003-2009 «Методические рекомендации по специализированному прогнозу состояния дорожного покрытия». Для производителей была выпущена книга, в которой изложены основные сведения о метеорологическом обеспечении зимнего содержания дорог [17].

ВЫВОДЫ

1. Проведенные в Воронежском государственном техническом университете научные исследования по проблемам зимнего содержания дорог позволили разработать ряд математических моделей,

описывающих процессы взаимодействия автомобильной дороги с внешней средой и состояние дорожного покрытия, формирующиеся под воздействием погодных факторов.

2. Полученные модели могут использоваться в качестве «цифровых двойников» при управлении работами на этапе эксплуатации автомобильных дорог. Они позволяют оценивать и прогнозировать транспортно-эксплуатационное состояние любого участка дороги в сложных погодных условиях – возможность образования зимней скользкости или снежных заносов, а также выбирать оптимальные по погодным условиям технологии проведения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.П. *Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях* / А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1976. – 224 с.
2. Талапов В.В. *Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий* / В.В. Талапов. – М.: ДМК-Пресс, 2011. – 392 с.
3. СП 333.1325800-2020. *Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.* – М.: Минстрой России, 2020. – 216 с.
4. Скворцов А.В. *Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования* / А.В. Скворцов, Д.С. Сарычев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 4-14.
5. Прохоров А. *Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт* / А. Прохоров, М. Лысачев. – М.: ООО Альянс Принт, 2020. – 401 с.
6. Евстигнеев И.А. *Основы создания интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах федерального значения России* / И.А. Евстигнеев. – М.: Издательство «Перо», 2016. – 260 с.
7. Самодурова Т.В. *Оперативное управление зимним содержанием дорог. Научные основы: Монография* / Т.В. Самодурова. – Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2003. – 168 с.
8. Самодурова Т.В. *Учет воздействия погодных факторов на динамику снегонакоплений в нераскрытых выемках* / Т.В. Самодурова, О.В. Гладышева, Н.Ю. Алимova // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 4 (33). – С. 198-208.

9. Samodurova T.V. 2D and 3D road climatic models / T.V. Samodurova, O.V. Gladisheva, N.Yu. Alimova, S.M. Shiryayeva. – Proceedings of 16th International Road Weather Conference SIRWEC. – Finland, 2012. – 7 pp.
10. Самодурова Т.В. Исследование температурного режима в период возможного образования зимней скользкости на автомобильных дорогах / Т.В. Самодурова, Ю.В. Бакланов, В.Н. Перегудова // Дороги и мосты. – 2017. – № 37/1. – С. 171-185.
11. Boschung M. jr. The next step in the RWIS evolution: The Virtual Station. – 10th International Road Weather Conference, 22-24 March, 2000, Davos, Switzerland. – PP. 161-168.
12. Самодурова Т.В. Методика расчета цикличности выполнения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог / Т.В. Самодурова, Ю.В. Бакланов // Дороги и мосты. – 2013. – № 30/2. – С. 99-112.
13. Самодурова Т.В. Мониторинг снегозаносимых участков автомобильных дорог – информационное моделирование / Т.В. Самодурова, О.В. Гладышева, Н.Ю. Алимова, В.Н. Перегудова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2019. – № 4 (56) – С. 91-100.
14. Самодурова Т.В. Проверка адекватности моделей для оценки снегозаносимости автомобильных дорог / Т.В. Самодурова, О.В. Гладышева, Н.Ю. Алимова, С.М. Ширяева // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Воронеж, 2013. – Вып. № 1 (29). – С. 66-74.
15. Самодурова Т.В. Проектирование снегозащитных мероприятий для автомобильных дорог с использованием специальных картографических материалов / Т.В. Самодурова, О.В. Гладышева, Ю.В. Бакланов, Н.Ю. Алимова, К.В. Панферов // Дороги и мосты. – 2018. – № 38/1. – С. 168-188.
16. Самодурова Т.В. Автоматизация расчетов по проектированию снегозащитных мероприятий / Т.В. Самодурова, Е.В. Хорошилов // Научная опора Воронежской области: Сб. трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. – Воронеж, 2019. – С. 20-22.
17. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог / Т.В. Самодурова / Ассоциация «РАДОР». – М.: ТИМР, 2003. – 183 с.

LITERATURA

1. Vasil'ev A.P. *Sostoyanie dorog i bezopasnost' dvizheniya avtomobilej v slozhnyh pogodnyh usloviyah* / A.P. Vasil'ev. – M.: Transport, 1976. – 224 s.
2. Talapov V.V. *Osnovy BIM: vvedenie v informacionnoe modelirovanie zdaniy* / V.V. Talapov. – M.: DMK-Press, 2011. – 392 s.
3. SP 333.1325800-2020. *Informacionnoe modelirovanie v stroitel'stve. Pravila formirovaniya informacionnoj modeli ob"ektov na razlichnyh stadiyah zhiznennogo cikla*. – M.: Minstroj Rossii, 2020. – 216 s.
4. Skvorcov A.V. *Zhiznennyj cikl proektov avtomobil'nyh dorog v kontekste informacionnogo modelirovaniya* / A.V. Skvorcov, D.S. Sarychev // *SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*. – 2015. – № 1(4). – S. 4-14.
5. Prohorov A. *Cifrovoj dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt* / A. Prohorov, M. Lysachev. – M.: OOO Al'yans Print, 2020. – 401 s.
6. Evstigneev I.A. *Osnovy sozdaniya intellektual'nyh transportnyh sistem na avtomobil'nyh dorogah federal'nogo znacheniya Rossii* / I.A. Evstigneev. – M.: Izdatel'stvo «Pero», 2016. – 260 s.
7. Samodurova T.V. *Operativnoe upravlenie zimnim sodержaniem dorog. Nauchnye osnovy: Monografiya* / T.V. Samodurova. – Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2003. – 168 s.
8. Samodurova T.V. *Uchet vozdeystviya pogodnyh faktorov na dinamiku snegonakoplenij v neraskrytyh vyemkah* / T.V. Samodurova, O.V. Gladysheva, N.YU. Alimova // *Vestnik TGASU*. – 2011. – № 4 (33). – S. 198-208.
9. Samodurova T.V. *2D and 3D road climatic models* / T.V. Samodurova, O.V. Gladysheva, N.Yu. Alimova, S.M. Shiryayeva. – *Proceedings of 16th International Road Weather Conference SIRWEC*. – Finland, 2012. – 7 p.
10. Samodurova T.V. *Issledovanie temperaturnogo rezhima v period vozmozhnogo obrazovaniya zimnej skol'zskosti na avtomobil'nyh dorogah* / T.V. Samodurova, Yu.V. Baklanov, V.N. Peregudova // *Dorogi i mosty*. – 2017. – № 37/1. – S. 171-185.
11. Boschung M. jr. *The next step in the RWIS evolution: The Virtual Station*. – *10th International Road Weather Conference*, 22-24 March, 2000, Davos, Switzerland. – PP.161-168.
12. Samodurova T.V. *Metodika rascheta ciklichnosti vypolneniya rabot po zimnemu sodержaniyu avtomobil'nyh dorog* / T.V. Samodurova, Yu.V. Baklanov // *Dorogi i mosty*. – 2013. – № 30/2. – S. 99-112.
13. Samodurova T.V. *Monitoring snegozanosimyyh uchastkov avtomobil'nyh dorog – informacionnoe modelirovanie* / T.V. Samodurova,

- O.V. Gladysheva, N.YU. Alimova, V.N. Peregudova // Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. – 2019. – № 4 (56) – S. 91-100.*
14. *Samodurova T.V. Proverka adekvatnosti modelej dlya ocenki snegozasimosti avtomobil'nyh dorog / T.V. Samodurova, O.V. Gladysheva, N.YU. Alimova, S.M. Shiryayeva // Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura. – Voronezh, 2013. – Vyp. № 1 (29). – S. 66-74.*
15. *Samodurova T.V. Proektirovanie snegozashchitnyh meropriyatij dlya avtomobil'nyh dorog s ispol'zovaniem special'nyh kartograficheskikh materialov / T.V. Samodurova, O.V. Gladysheva, Yu.V. Baklanov, N.Yu. Alimova, K.V. Panferov // Dorogi i mosty. – 2018. – № 38/1. – S. 168-188.*
16. *Samodurova T.V. Avtomatizatsiya raschetov po proektirovaniyu snegozashchitnyh meropriyatij / T.V. Samodurova, E.V. Horoshilov // Nauchnaya opora Voronezhskoj oblasti: Sb. trudov pobeditelej konkursa nauchno-issledovatel'skih rabot studentov i aspirantov VGTU po prioritetyam napravleniyam razvitiya nauki i tekhnologij. – Voronezh, 2019. – S. 20-22.*
17. *Samodurova T.V. Meteorologicheskoe obespechenie zimnego sodержaniya avtomobil'nyh dorog / T.V. Samodurova / Associatsiya «RADOR». – M.: TIMR, 2003. – 183 s.*

.....

**PROSPECTS OF USING INFORMATION MODELING
TECHNOLOGIES WHEN SOLVING PROBLEMS
OF WINTER ROAD MAINTENANCE**

*Doctor of Engineering, Professor T.V. Samodurova,
Ph. D. (Tech.), Associate Professor O.V. Gladysheva,
Ph. D. (Tech.) N.Yu. Alimova,
Ph. D. (Tech.) Yu.V. Baklanov
(Voronezh State Technical University (VSTU))
Contact information: samodurova@vgasu.vrn.ru;
ov-glad@ya.ru;
natalimowa@ya.ru;
baklanovmail@mail.ru*

The prospects of using information modeling technologies when solving problems of winter road maintenance are considered. The scheme of using information resources for managing road maintenance works is presented. The conclusion about the possibility of using the research results in the field of information modeling is made. The main mathematical models designed for

solving the snow protection problems, temperature calculating and assessment of road pavement condition in winter are given. They can be used during the operational phase of roads for organization of operational management of winter maintenance works in the road life cycle. The results of the researches on the winter maintenance problems, which are carried out at the chair of Roads and Bridges Designing of Voronezh State Technical University, as well as the implementation of these results in the industry regulatory documents are presented.

Key words: *information modeling, roads, winter maintenance, snow-drift zone, winter slipperiness, mathematical modeling.*

Рецензент: д-р экон. наук В.П. Миронюк (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 13.03.2021 г.