

На правах рукописи



САМОДУРОВА ТАТЬЯНА ВАСИЛЬЕВНА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
РАБОТАМИ ПО БОРЬБЕ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ
НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

05.23.11 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Воронеж 2004

Работа выполнена на кафедре проектирования автомобильных дорог и мостов Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

- Научный консультант - Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Васильев Александр Петрович
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Леонович Иван Иосифович
- доктор технических наук, профессор Ефименко Владимир Николаевич
- доктор технических наук, профессор Бондарев Борис Александрович
- Ведущая организация Государственное предприятие Росдорнии

Защита состоится 27 мая 2004 г. в 14 часов.
на заседании диссертационного совета Д 212.033.02 при Воронежском государственном архитектурно-строительном университете по адресу 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, ауд. 20 корп. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (ВГАСУ)

Автореферат разослан 16 апреля 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Колодяжный С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Рост интенсивности движения на автомобильных дорогах приводит к повышению требований к основным транспорто- эксплуатационным показателям: обеспеченной скорости, непрерывности и безопасности движения. Для их выполнения в зимний период документы нормируют время на ликвидацию скользкости и снежных отложений. Поиск путей оптимального расходования ресурсов для достижения необходимого уровня содержания дорог в сложных погодных условиях является актуальной проблемой.

Актуальность указанной проблемы обусловлена также и тем, что среди основных направлений дорожной политики предусматривается развитие в России международных транспортных коридоров и их интеграция в Европейскую систему автомобильных дорог. Это требует определенного уровня сервиса для пользователей дорог и значительных финансовых средств для его достижения.

Решение задач повышения транспортно-эксплуатационных показателей дорог в сложных погодных условиях возможно на пути совершенствования системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью и перехода от технологий ликвидации к профилактике ее образования. Для реализации профилактических мероприятий необходима разработка специализированных прогнозов состояния дорожного покрытия.

Совершенствование оперативного управления зимним содержанием дорог за рубежом идет по пути развития интеллектуальных транспортных систем (ITS), составной частью которых является подсистема погодного мониторинга. Информация, поступающая из этой подсистемы, используется для выбора оптимальных по погодным условиям стратегий работ при зимнем содержании дорог. Погодно - климатические особенности России и уровень ее технического развития приводит к необходимости выработки научных подходов к развитию систем оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью и их информационного обеспечения специализированными прогнозами.

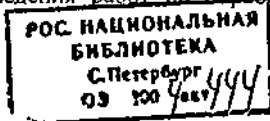
Часть исследований проведена при финансовой поддержке гранта Т02-13.0-2291 Министерства Образования Российской Федерации по фундаментальным исследованиям в области технических наук (№ ГР 01.2.00307041).

Цель исследования - разработка научных основ оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах с использованием информационных технологий и систем погодного мониторинга.

Задачи исследования:

1. Разработать общие модели, описывающие систему Среда-Дорога в процессе ее функционирования при оперативном управлении работами по борьбе с зимней скользкостью, обосновать все элементы множеств, входящих в общие модели.

2. Сформировать математические модели, описывающие состояние дорожного покрытия при воздействии погодных и дорожных факторов, оценивающие выходные параметры системы оперативного управления и эффективность использования различных технологий проведения работ по борьбе с зимней



скользкостью. Разработать алгоритмы расчетов и осуществить их программную реализацию.

3. Проверить адекватность предлагаемых моделей в ходе экспериментальных исследований. Разработать методику проведения вычислительных экспериментов.

4. Провести теоретические исследования и получить модели для прогнозирования состояния дорожного покрытия и выбора технологий работ, оценить эффективность использования различных стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью в зависимости от погодных условий.

5. Разработать рекомендации по использованию результатов исследований в виде информационной технологии поддержки принятия решений при оперативном управлении работами по борьбе с зимней скользкостью.

Научная новизна работы.

- Оперативное управление работами по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах изучено с позиций системного подхода как процесс принятия решений в условиях неопределенности воздействия погодных параметров; исследована система Среда-Дорога, в которой возмущающее воздействие внешней среды рассматривается как системный фактор.

- Впервые разработаны теоретические основы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью, включающие теоретико - множественные модели, описывающие в общем виде синтез системы «Среда-Дорога», ее функционирование и информационное обеспечение; множества параметров, входящих в модели; предложены классификации видов зимней скользкости и стратегий работ по борьбе с ней, которые учитывают различия требований к физическим и информационным ресурсам.

- Разработан комплекс математических моделей, описывающих физические процессы образования и прогнозирования различных видов зимней скользкости на дорожных покрытиях; предложены временные диаграммы, отражающие требования к уровню зимнего содержания дорог, критерии оценки выбранного управляющего воздействия в виде множества выходных параметров; разработана методика построения метеоролого-экономических моделей, объединяющих выходные параметры в едином показателе, используемом для оценки адаптивности различных стратегий к погодным воздействиям и оценки эффективности решений, принятых в процессе оперативного управления.

- Разработаны научно-методические основы комплексных экспериментальных исследований, включающие методики и результаты опытно - экспериментальных работ по оценке адекватности математических моделей, методики проведения поэтапных вычислительных экспериментов для теоретического исследования системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью.

- Установлены наиболее информативные погодные и дорожные параметры, влияющие на образование различных видов зимней скользкости; рассчитаны физико-статистические модели, в виде линейных дискриминантных функций

для производственно-технологических предупреждений (прогноза) состояния дорожного покрытия; теоретически оценена адаптивность различных стратегий работ к погодным воздействиям.

Практическое значение работы состоит в следующем:

- Обоснованы состав и источники поступления информационных ресурсов, необходимых для оперативного управления и алгоритмы их переработки для получения производственно-технологических предупреждений о состоянии объекта управления и выбора стратегии проведения работ.
- Разработаны научные основы по регламенту выбора стратегии работ с учетом погодных, дорожных условий и ресурсов дорожной организации.
- Разработано программное обеспечение для диспетчерской службы (центров управления производством).

На защиту выносятся:

- теоретико-множественные модели, описывающие синтез системы «Среда-Дорога», ее функционирование и информационное обеспечение;
- комплекс математических моделей, описывающих процессы образования и прогнозирования различных видов зимней скользкости;
- результаты опытно-экспериментальных работ по оценке адекватности математических моделей;
- результаты оценки адаптивности различных стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью к погодным воздействиям;
- физико-статистические модели, в виде линейных дискриминантных функций для производственно-технологических предупреждений (прогноза) состояния дорожного покрытия.

Реализация работы. Разработанные в диссертации положения нашли свое отражение в нормативных документах: ВСН 20-87 «Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах», ОДМ «Методические рекомендации по разработке проекта содержания автомобильных дорог», ОДМ «Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах».

Результаты исследований использовались:

- в работе Комиссии по содержанию, ремонту и развитию автомобильных дорог Российской Ассоциации территориальных органов управления автомобильными дорогами (РАДОР) при разработке «Концепции метеорологического обеспечения дорожного хозяйства Российской Федерации»;
- в системе Росгидромета в научно-исследовательских работах по специализированному метеорологическому обеспечению отраслей экономики государства, проводимых Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации (ВНИИ ГМИ, Мировой центр данных, г. Обнинск), и при разработке отечественного образца автоматической дорожной метеорологической станции (ЦКБ гидрометеорологических приборов, г. Обнинск);

- в виде лекционного материала на четырех обучающих российско-финских семинарах по дорожной метеорологии, проводимых для дорожных производственных организаций различных регионов России, в рамках международных проектов по линии TESIS;

в учебном процессе в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете при дипломном проектировании.

Апробация работы Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на 76 научных конференциях, совещаниях и семинарах по дорожной тематике, информационным технологиям, математическому моделированию, управлению, дорожному метеообеспечению (14 - всероссийских, 39 - международных, 19 — вузовских и 4 семинара по линии международного сотрудничества по программе TESIS). Основными из них являются: международная конференции «Безопасность движения» (Таллинн, 1990), ICWES10 (Венгрия, Будапешт, 1996), II Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги Сибири» (Омск, 1998), Международный научно-практический симпозиум «Дорожная экология 21 века» (Воронеж, 2000), 10 и 11 Международные конференции по дорожной метеорологии (Швейцария, Давос, 2000, Япония, Саппоро, 2002), 1 и 2 Международные конференции «Повышение качества строительных работ, материалов и проектных решений» (Брянск, 2000, 2003), I Международная конференция «Прикладная математика в нашем изменяющемся мире» (Берлин, 2001), III Международная конференция «Современные технологии изысканий, проектирования и геоинформационного обеспечения в промышленном, гражданском и транспортном строительстве» (Москва, 2001), 4 Международная выставка «Дорожное и коммунальное хозяйство» (Москва, 2002), научно-техническая конференция «Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса» (Москва, 2003), Международная научно-техническая конференция «Современные технологии, машины и материалы для содержания автомобильных дорог», (Могилев, 2003), VI, VII Международные научно-практические конференции «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт-Петербург, 2002, 2003), 4 Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гуманизации и гармонизации управления» (Харьков, 2003), Всероссийская научно - практическая конференция «Проблемы развития информационных телекоммуникационных технологий и систем связи в дорожном хозяйстве России» (Саратов, 2003), российско-финские семинары по дорожному метеорологическому обеспечению по программе TESIS (Нижний Новгород, 2001, Кемерово, 2001, Павловск, 2001, Архангельск, 2002).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 95 печатных работ общим объемом 48,9 печатных листов, из них автору принадлежит 41,6 печатных листов. Результаты исследований представлены в статьях в журналах - 12 (из них 6 - входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для докторских диссертаций), трех монографиях, трех отраслевых нормативных документах, од-

ном информационном обзоре, трудах научных конференций - 37, тезисах международных конференций - 25, всесоюзных и всероссийских конференций - 14.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка использованных источников из 345 наименований и 6 Приложений.

Общий объем 346 страниц, в том числе 303 страницы основного текста, 51 рисунок, 43 таблицы и 6 Приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложено современное состояние проблемы оперативного управления зимним содержанием автомобильных дорог. Научные основы управления содержанием дорог изложены в работах Н.И. Иголкина, А.К. Бируля, М.Б. Корсунского, Г.В. Бялобжеского, А.П. Васильева и других ученых. До настоящего времени практически все известные исследования рассматривают в качестве объекта управления ремонтные работы, а задачи управления зимним содержанием посвящены разработке методов определения затрат и необходимых ресурсов. Выявлено, что основными причинами недостаточного количества исследований по оперативному управлению работами по борьбе с зимней скользкостью являются отсутствие:

- технических возможностей для оперативного управления (средств сбора, передачи и обработки дорожной и погодной информации),
- дорожной техники для профилактики образования зимней скользкости, специализированных прогнозов погоды, позволяющих с необходимой заблаговременностью предсказывать состояние дорожного покрытия.

Оперативное управление зимним содержанием аэродромами исследовано В.Р. Лежеевым, но полученные им рекомендации не могут использоваться на автомобильных дорогах из-за их пространственной протяженности и различий в технических средствах, используемых для проведения работ по борьбе с зимней скользкостью. Исследованию процессов оперативного управления работами по ликвидации зимней скользкости на основе оптимизации маршрутов движения техники посвящена работа Н.Б. Сакута, но, несмотря на практическую ценность полученных результатов, технологии профилактики образования зимней скользкости ей не рассматривались, а погодные факторы не введены в состав системных параметров.

До настоящего времени практически не исследованными являются вопросы обеспечения работ по борьбе с зимней скользкостью специализированными прогнозами погоды и их влияния на эффективность выбора стратегии работ. Анализ практического опыта зимнего содержания дорог за рубежом показывает, что система погодного мониторинга позволяет перейти к целенаправленному выбору стратегий работ и превентивным мероприятиям при угрозе образования скользкости на дорожном покрытии.

Для решения задач оперативного управления зимним содержанием дорог в диссертационной работе предложена обобщенная схема (см. рис.1), на основе которой сформулированы основные понятия и определения.

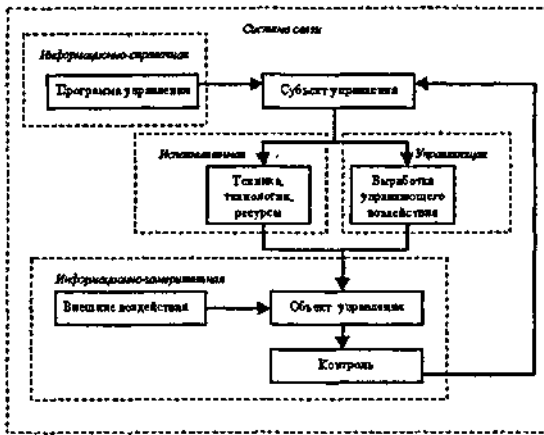


Рис. 1. Обобщенная схема оперативного управления (основные подсистемы)

Субъектами управления являются дорожные организации, выполняющие работы по борьбе с зимней скользкостью, объект управления - автомобильная дорога. Необходимость применения управляющих воздействий при оперативном управлении работами по борьбе с зимней скользкостью обусловлена влиянием погодных условий, как на состояние дорожного покрытия, так и на выбор технологии работ (ликвидация или профилактика скользкости).

Приведены результаты поисковых исследований по каждой из подсистем:

- стандарты на зимнее содержание дорог - как программа управления,
- классификации видов зимней скользкости — как состояние объекта управления, требующее применения управляющих воздействий,
- методы и технологии защиты дорог от неблагоприятных погодных воздействий — как основа исполнительской подсистемы,
- противогололедные материалы и техника для зимнего содержания дорог — как ресурсы, используемые при проведении работ.

Проанализирован отечественный и зарубежный опыт использования информационных технологий при оперативном управлении работами по зимнему содержанию дорог. Для информационно-измерительной подсистемы проанализированы основные информационные ресурсы, характеризующие дорогу как объект управления и специализированное дорожное метеорологическое обеспечение. Рассмотрена роль связи в оперативном управлении.

Анализ методов научных исследований позволил выбрать в качестве методологической основы теоретико-множественный подход, математическое моделирование и вычислительные эксперименты. Сделан вывод о необходимости разработки математического аппарата для изучения системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью.

Основная цель управления дорогами в зимний период - обеспечение их сохранности и работоспособности, поддержание транспортно - эксплуатационного состояния, допустимого по условиям обеспечения непрерывности и безопасности движения.

Программа управления, включает параметры, регламентируемые нормативными документами (ГОСТ Р50597-93, «Временное руководство по оценке уровня содержания автомобильных дорог»).

Проведенный анализ позволил сделать выводы о том, что, несмотря на имеющийся зарубежный практический опыт оперативного управления зимним содержанием дорог, в России отсутствуют теоретические исследования, позволяющие решать эти задачи с учетом ее погодно-климатических и технических особенностей. Проведенный обзор состояния вопроса позволил конкретизировать цель и задачи исследования, изложенные выше.

Во второй главе рассмотрен системный подход к решению задач управления зимним содержанием дорог в рамках анализа комплекса ВАДС (Водитель — Автомобиль — Дорога - Среда). Для решения задач оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью выделены подсистемы Дорога и Среда и для исследования объединены в единую систему. В состав элементов, определяющих системные связи, введены:

- управление автомобильными дорогами, влияние которого осуществляется через формирование программы управления, техническую политику зимнего содержания, выделяемые ресурсы,
- служба содержания автомобильных дорог с ее ресурсами, технологиями и уровнем организации работ по зимнему содержанию сети дорог,
- специализированное дорожное метеорологическое обеспечение,
- экологические требования, выступающие в качестве ограничений при выборе технологий работ,
- информационно - телекоммуникационное обеспечение, связывающее весь процесс управления в единую систему.

Разработка теоретико-множественных моделей произведена на основе качественного описания системы в виде концептуальной модели, характеризующей существующую трехуровневую иерархическую систему управления автомобильными дорогами. Приведен перечень задач, решаемых при зимнем содержании дорог на каждом уровне управления. Для оценки эффективности принятых решений по оперативному управлению работами по борьбе с зимней скользкостью в качестве выходных параметров системы приняты:

- соответствие фактического уровня содержания дороги требованиям нормативных документов;
- продолжительность нахождения дороги в условиях зимней скользкости;
- фактические затраты ресурсов на проведение работ,
- скорость движения транспортных потоков;
- безопасность дорожного движения
- экологическое состояние придорожной полосы (уровень выбросов транспортных средств, уровень загрязнения придорожных территорий противогололедными материалами).

Для системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью как сложной системы целенаправленного поведения, разработаны три математические модели, различающиеся по целевому назначению.

1) *Модель внутренней структуры* синтезирует систему Среда Дорога $S_{СД}$ из отдельных систем $S_{СД}$ и $S_{ДД}$ и устанавливает порядок построения ее мо-

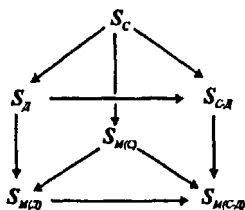


Рис 2 Модель синтеза системы
Среда-Дорога

модели $S_{M(C,D)}$, представленный диаграммой (см.рис.2). Модель описывает в общем виде ситуацию, требующую принятия управляющих воздействий - формирование состояния дорожного покрытия под воздействием погодных и дорожных факторов.

2. *Модель функционирования системы* отображает взаимодействие автомобильной дороги с окружающей средой через множество входных и выходных параметров. Рассмотрены 4 множества:

U - управляющих воздействий, которые выбираются в зависимости от сложившейся ситуации,

X - входных параметров, которые не регулируются при управлении, влияют на выбор управляющих воздействий, но не зависят от них,

Z - внешние возмущающие воздействия (погодные параметры),

Y - выходные переменных зависящие от выбора управляющего воздействия, и позволяющие оценить эффективность управления системой.

Для рассмотренных множеств математическая модель принятия управляющих воздействий описана отображением:

$$\mathcal{I}: X \times U \times Z \rightarrow Y \quad 0)$$

и задача оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью сформулирована следующим образом: пусть имеются:

- параметры задачи x_1, x_2, \dots , заранее заданные факторы ($x \in X$),
 - параметры управления u_1, u_2, \dots , которые могут быть выбраны в известных пределах ($u \in U$),
 - неизвестные внешние воздействия окружающей среды z_1, z_2, \dots ($z \in Z$),
- при заданных параметрах задачи x_1, x_2, \dots , с учетом неизвестных факторов z_1, z_2, \dots найти такие параметры управления u_1, u_2, \dots , которые по возможности оптимизируют показатель эффективности

$$W = W(x_1, x_2, \dots, u_1, u_2, \dots, z_1, z_2, \dots) \quad (2)$$

В качестве показателя эффективности принята метеоролого - экономическая модель (МЭМ). Для этого в известной в метеорологии системе «Погода — Метеорологическое обеспечение - Потребитель» с учетом специфики задач оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью конкретизирована подсистема «Потребитель» (см. рис. 3). Ее анализ показал, что при оперативном управлении работами по борьбе с зимней скользкостью центральное место всей системы занимают блоки 5 и 9 - состояние дорожного покрытия и выбранная технологическая операция. Степень управляемости системой и ее выходные параметры зависят от дорожных факторов (блок 3), полноты и достоверности дорожной информации (блок 4), качества информационного обеспечения процессов управления - специализированных прогнозов (блоки 2, 6), и качества регламента производства работ (блок 7). Выбор стратегии работ за-

висит от имеющейся в распоряжении дорожной организации информации (блоки 2,4,6), ресурсов (блок 3) и состояния дорожного покрытия (блок 5).

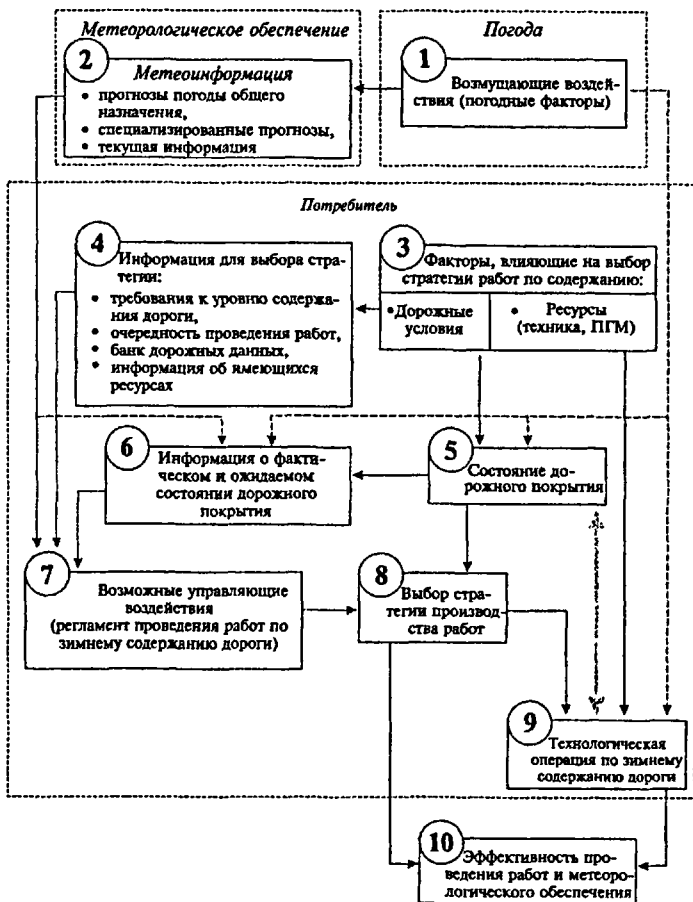


Рис. 3. Структура системы «Погода - Метеорологическое обеспечение- Потребитель» для оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью

Под регламентом проведения работ (блок 7) подразумевается совокупность правил, предписывающих выбор стратегии работ при определенных погодных условиях, состоянии дорожного покрытия и наличии ресурсов.

Метеоролого-экономические модели позволяют оценить эффективность взаимодействия подсистем (блок 10) при различном качестве информационно-обеспечения процессов организации работ по борьбе с зимней скользкостью.

3. *Информационная модель* отражает источники и потребители информации, направление ее движения и задачи преобразования. Математическая по-

станровка задачи выбора стратегии работ сформулирована следующим образом: пусть $I(Z,P)$ – информация о сложившихся (текущая) и ожидаемых (прогнозная) погодных условиях и состоянии покрытия, составляющая совокупность сведений $\Omega = \{I\}$ специализированного метеорологического обеспечения. Разработать алгоритм 5, который, определенной информации $I(Z,P)$ ставит в соответствие определенные решения из множества управляющих воздействий U :

$$(Z,P) \Rightarrow I(Z,P) \Rightarrow S(I) \Rightarrow u(I,S), u \in U \quad (3)$$

Информационные ресурсы, необходимые для оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью, разбиты на несколько групп. Выделена информация, описывающая:

- *систему управления автомобильными дорогами* - входная информация от высшего уровня, формирующая программу управления и выходная информация о состоянии проезда по дорогам и выполненных работах.
- *дорогу* (уровень содержания, состояние дорожного покрытия, снеготаносимость участков дороги и т.д.).
- *ресурсы, используемые при борьбе с зимней скользкостью*
- *возмущающие воздействия внешней среды.*

Последняя группа - основной вид информационных ресурсов, необходимых для оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью. Анализ показал, что специализированные прогнозы погоды, поступающие в настоящее время из системы Росгидромета, не позволяют прогнозировать состояние дорожного покрытия и проводить профилактические работы. В диссертации введено понятие *производственно - технологического предупреждения (ЛТП)* - прогнозирование состояния дорожного покрытия, полученное на основе анализа непосредственных специальных измерений, или посредством специальных расчетов с использованием как метеорологической, так и дорожной информации. Заблаговременность ЛТП может быть определена расчетом. Они предназначены для внутриотраслевого использования и выбора стратегии работ по борьбе с зимней скользкостью. Этот термин использован в диссертации как синоним термина «прогнозирование состояния дорожного покрытия».

Информационная модель принята в виде ориентированного графа, как совокупность вершин и дуг, соединяющих вершины:

$$G_n = \{n_j, (n_j, n_j)\} \quad (4)$$

Вершины графа соответствуют определенным задачам в системе оперативного управления, а дуги определяют связи между задачами и направления информационных потоков. В работе определен перечень задач и состав информационных потоков.

Анализ модели функционирования системы показал, что необходимо установить множества: параметров задачи, управляющих воздействий – стратегий работ, а также вид метеоролого-экономической модели.

Для оценки состояния дорожного покрытия предложена классификация видов зимней скользкости, приведенная в табл. 1. Дано подробное описание видов зимней скользкости, вошедших в классификацию, тенденция изменения метеорологических параметров при их образовании.

Таблица 1

Классификация различных видов зимней скользкости дорожных покрытий и условия их образования

Вид зимней скользкости	Условия образования				
	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	время последствия осадков 12 ч
Черный лед	то же	ниже 0, ниже точки росы	нет	сухое	нет
Твердый налет	выше 0	ниже 0	жидкие	-	нет
	от 0 до -5	ниже 0	мокрый снег	-	количество осадков $q = 0$ мм
Гололед	ниже 0	ниже 0	переохлажденные жидкие (дождь, морось)	-	нет
Снежный накат	от 2 до 0	-	твердые (снег, мокрый снег)	-	интенсивность снегопада не менее 0,6 мм / ч
	от 0 до -6	-	то же	-	количество осадков не менее 5 мм
	от -6 до -10	-	то же	-	относительная влажность воздуха не менее 90%
Рыхлый снег	от -6 до -10	-	то же	-	относительная влажность воздуха менее 90%
	ниже -10	-	то же	-	нет
Снежные заносы: общая метель	ниже 0	-	твердые	-	скорость ветра более 6 м/с, снегозаносящий участок дороги
низовая метель	то же	-	отсутствуют	-	

Определено множество дорожных параметров и множество возмущающих воздействий внешней среды, в которое вошли погодные факторы в приземном слое атмосферы, под воздействием которых формируется зимняя скользкость.

Разработана классификация управляющих воздействий, в основу которой положено разделение технологий работ на две группы: удаление скользкости с дорожного покрытия переводом снежно-ледяных отложений в другое агрегатное состояние и ее удаление механическим путем. Для каждой из групп выделены работы по ликвидации зимней скользкости и профилактике ее образования, в результате чего выявлен следующий набор стратегий:

- I - Ликвидация зимней скользкости.
- II - Профилактика образования зимней скользкости.
- III - Удаление рыхлого снега с дорожного покрытия.
- IV - Профилактика образования снежного наката.
- V - Распределение фрикционных материалов.
- VI - Расчистка снежных заносов.

Предложенная классификация стратегий отражает особенности технологических процессов по содержанию дорогах, нормы распределения и вид противогололедных материалов, возможности техники по регулированию норм распределения, навесного оборудования, используемого для проведения работ. Для решаемой задачи все эти параметры составляют дискретное конечное множество.

В третьей главе приведены математические модели и алгоритмы решения задач для оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью. Описание исследуемой системы управления с позиций теоретико - множественного подхода приводит к необходимости поиска прототипов математических моделей определенного класса, составляющих физико-математическую основу исследования. В соответствии с моделью синтеза системы Среда-Дорога (см. рис.2), разработаны математические модели, адекватно отражающие процессы формирования различных видов зимней скользкости на дорожных покрытиях под воздействием погодных и дорожных факторов.

Для I, II, V стратегий исследованы процессы формирования тех видов зимней скользкости, которые образуют на покрытии слой стекловидного льда, а в соответствии с классификацией состояний дорожного покрытия (см. табл. 1) к этой группе относятся первые четыре вида зимней скользкости.

Основной дорожный параметр, принятый для исследований условий образования данных видов зимней скользкости - температура дорожного покрытия. Температурный режим в дорожной конструкции и на ее поверхности под действием периодически изменяющейся температуры воздуха исследован с помощью одномерного уравнения теплопроводности. Рабочая модель сформирована с учетом физической постановки задачи и представляет систему уравнений

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{c_1 \rho_1} \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad (5)$$

где $T(x,t)$ температура в дорожной конструкции или грунте земляного полотна на глубине x в момент времени t , °C; λ_1 - теплопроводность, Вт/(м·К); c_1 -

удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ - плотность кг/м³ - теплофизические характеристики конструктивных слоев дорожной одежды и грунта.

Для поверхности дорожного покрытия принят сложный теплообмен, определяемый граничными условиями II рода, при которых задана интенсивность теплового потока и III рода с определением условий теплообмена с окружающей средой. В рабочей модели они приведены к граничному условию III рода с условной температурой воздуха $T_{\text{усл}}$:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha [T_n(t) - T_{\text{усл}}(t)] = 0 \quad (6)$$

где

$$T_{\text{усл}} = T_g(t) + \rho_n q_n / \alpha_n \quad (7)$$

где ρ_n - коэффициент поглощения дорожным покрытием радиации, q_n - интенсивность падающего на покрытие излучения, Вт/м², α_n - коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К).

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

$$T(H, t) = T_z = \text{const} \quad (8)$$

Количественное значение интенсивности и знак теплового потока q_n определялись через радиационный баланс дорожного покрытия R_6 ,

$$R_6 = (S + D) \rho_n - I_{\text{эф}}, \quad (9)$$

составляющие которого рассчитаны по известным актинометрическим зависимостям.

Начальное распределение температуры определялось по формуле:

$$T(x, 0) = T_{g \text{ ср}} + (T_z - T_{g \text{ ср}})(R_n + \sum R_x) / R \quad (10)$$

где $T_{g \text{ ср}}$ - температура воздуха средняя за период Δt , °С; R_n - тепловое сопротивление, характеризующее теплообмен покрытия с воздухом, (м²·К)/Вт; $\sum R_x$ - 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.

Решение уравнения производилось методом конечных разностей с шагом по времени 0,25 ч и с переменным шагом по глубине конструкции, изменяющимся от 0,01 м для верхних слоев до 0,1 м в грунте земляного полотна. Сходящаяся к решению система в конечных разностях получена при помощи метода баланса.

Математические модели, описывающие формирование скользкости, представлены в виде логико-математических соотношений, формализующих содержательное значение параметров, описывающих условия образования каждого из видов зимней скользкости (см. табл. 1). Результат логического исчисления - два значения «истина» или «ложь», которые для решаемой задачи интерпретируются как «при имеющемся сочетании параметров, образование скользкости данного вида возможно» или «при имеющемся сочетании параметров, образование скользкости данного вида невозможно». При принятых обозначениях: T_g - температура воздуха, T_n - температура дорожного покрытия, T_d - точка росы, $t_{\text{но}}$ - время

последствия осадков, OS - вид осадков, SP - состояние дорожного покрытия q -количество осадков, логические соотношения имеют истинное значение

- для гололедицы при выполнении следующих условий:

$$(T_a < 0) \& (T_n < 0) \& (SP = \text{влажное}) \& (t_{н0} \leq 12) \& (OS = \text{нет}) \quad (11)$$

- для черного льда:

$$(T_a < 0) \& ((T_n < 0) \& (T_n < T_d)) \& (SP = \text{сухое}) \& (OS = \text{нет}) \quad (12)$$

- для твердого налета:

$$((T_a > 0) \& (T_n < 0) \& (OS = \text{жидкие})) \vee ((-5 < T_a < 0) \& (T_n < 0) \& (OS = \text{мокрый снег}) \& (q = 0)) \quad (13)$$

- для гололеда:

$$(T_a < 0) \& (T_n < 0) \& (OS = \text{жидкие переохлажденные}) \quad (14)$$

Логические конструкции реализованы в алгоритмах расчета с помощью логических операторов. В ходе вычислительных экспериментов с их помощью сформирован выходной «виртуальный» архив статистической информации возможных случаев образования зимней скользкости, который использовался при исследовании условий образования каждого из видов.

Для Ш, IV и VI стратегий работ, связанных с уборкой*снежных отложений, температура покрытия не является определяющим дорожным параметром, а для борьбы и профилактики их образования количественно оценивают толщину слоя снега, определяющую необходимость снегоочистки, и интенсивность снегонакопления на дорожном покрытии. При снегопадах, выпадающих при скорости ветра менее 4-5 м/с, на всем протяжении дорог снег откладывается ровным слоем на покрытии, а интенсивность снегонакопления равна интенсивности выпадения осадков и не зависит от дорожных условий.

При метелях формирование снежных заносов и интенсивность накопления снега на покрытии зависит от дорожных условий. В качестве математической модели, определяющей объем снегопереноса в отдельную метель, принята формула Д.М. Мельника:

$$W_{сн} = C \cdot V^3 \cdot t_m, \quad (15)$$

где C - эмпирический коэффициент пропорциональности для ветра, измеренного на уровне флюгера; V - скорость ветра, м/с; t_m продолжительности метели, ч.

По объему снегопереноса рассчитан объем снегоприноса (W_{np}) к участку дороги определенного направления (α_0) по формуле:

$$W_{np} = W_{сн} \cdot \text{Sin}(\alpha_0 - \alpha_3) \quad (16)$$

Для расчета интенсивности снегонакопления на проезжей части использовались математические модели, разработанные О.В. Гладышевой, и позволяющие по объему снегоприноса определить среднюю толщину снежных отложений ($h_{ср}$) на дорожном покрытии для снегозаносимых насыпей, раскрытых и нераскрытых выемок. Для оценки интенсивности снегонакопления при метелях использовалась формула:

$$i_{сн} = h_{ср} / t_m, \quad (17)$$

переводящая результаты расчетов к временному масштабу задач оперативного управления. Приведены расчетные схемы и формулы для определения интенсив-

ности снегонакопления для трех вышеуказанных типов снеготранспортируемых поперечных профилей земляного полотна.

На основе анализа пространственно-временного масштаба задач прогнозирования состояния атмосферы доказано, что прогнозирование образования скользкости на дорожном покрытии можно производить с использованием физико - статистических методов. Так как производственно-технологические предпосылки являются альтернативными прогнозами, в качестве физико - статистических моделей приняты разделяющие (дискриминантные) функции, описывающие границу между двумя классами — наличие скользкости и ее отсутствие. При принятии решения, к какому из классов отнести прогнозируемую ситуацию исследуется знак дискриминантной функции. Расчет дискриминантных функций произведен в три этапа. На первом выявлены все параметры, определяющие прогнозируемый вид скользкости, на втором этапе с использованием процедуры «просеивания» из них отобраны наиболее значимые (информативные), по которым на третьем этапе с помощью виртуальных статистических архивов рассчитаны физико-статистические модели в виде линейных дискриминантных функций

$$D(X) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m + a_{m+1} \quad (18)$$

коэффициенты a_i выбраны из условия максимального различия двух классов:

$$\Phi = \left(\frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_x} \right)^2 \rightarrow \max \quad (19)$$

где \bar{X}_i — вектор средних значений параметров по которым прогнозируется явление для i -го класса ($i = 1, 2$); S_x - среднее квадратичное отклонение.

При оценке выходных параметров системы оперативного управления в качестве основного параметра принята продолжительность нахождения покрытия в условиях зимней скользкости, определяемая выбранной стратегией работ. В качестве ограничения на этот выходной параметр принято директивное время — максимальный срок окончания снегоочистки и ликвидации зимней скользкости, регламентируемый для I - IV стратегий нормативными документами. При исследованиях принято, что временные показатели для стратегии V (распределение фрикционных материалов) - не нормируются, а использование стратегии VI (расчистка снежных заносов) может рассматриваться как чрезвычайная ситуация, которую необходимо предотвратить средствами оперативного управления (патрульная снегоочистка) или стратегического управления — обеспечение снегозащиты заносимого участка.

В работе предложены три временные диаграммы (см. рис. 4), на которых отмечены такие моменты времени, как:

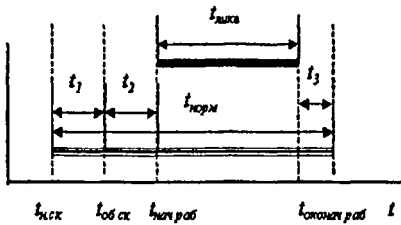
- момент начала образования скользкости ($t_{н.ск}$),
- время обнаружения скользкости ($t_{об.ск}$),
- время начала работ по борьбе со скользкостью ($t_{нач.раб}$),
- время окончания работ по борьбе со скользкостью ($t_{оконч.раб}$),

а также несколько временных интервалов для различных стратегий работ:

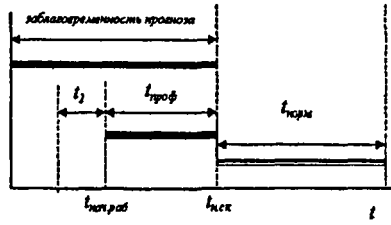
продолжительность работ по борьбе со скользкостью ($t_{ликв}$, $t_{проф}$, $t_{уб}$),

- продолжительность «срабатывания» противогололедных материалов и восстановления необходимых сцепных качеств покрытия (t_3),
- интервал времени, соответствующий максимальному сроку ликвидации зимней скользкости, регламентируемый ГОСТ ($t_{норм}$).

а) Стратегия I



б) Стратегия II



в) Стратегии III, IV

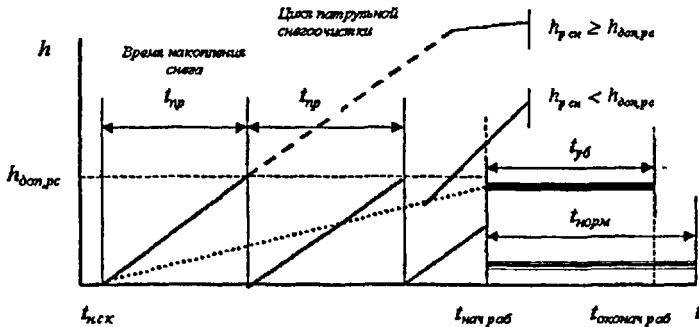


Рис. 4. Временные диаграммы для оценки выходных параметров системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью

Диаграммы отражают особенности каждой из стратегий по ликвидации и профилактике образования скользкости и положены в основу расчета всех выходных параметров системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью.

1. Скорость движения транспортных потоков определялась по методике расчета коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, предложенной А.П. Васильевым. Для расчетов использовалась формула:

$$\bar{v} = k_{рс}^{итог} v_p - t [a_0 + b (k_{рс}^{итог} v_p)^2] - \alpha \beta N \quad (20)$$

При моделировании скорости движения транспортных средств для различного состояния покрытия использовалось программное обеспечение автоматизированного банка дорожных данных (АБДЦ Дорога). В диссертационной работе описаны изменения, которые были внесены в базы данных для учета влияния состояния покрытия и погодных условий.

2. Безопасность движения оценивалась возможным количеством ДТП ($Z_{ДТП}$) на 1 млн-авт-км, через итоговый коэффициент аварийности ($K_{итог\ t}$), вычисленный для зимнего периода. Для каждой стратегии работ учитывалась продолжительности нахождения покрытия в условиях зимней скользкости. Расчеты проводились по формуле:

$$Z_{ДТП} = 2 \cdot 10^{-5} K_{итог\ t}^{0.373} N t_i L, \quad (21)$$

Влияние погодных условий и различных стратегий на показатели аварийности учтено введение поправочных коэффициентов для зимнего периода при расчетах сезонных коэффициентов аварийности.

3. Экологические показатели оценивались через ущерб, наносимый окружающей среде при использовании химических реагентов для борьбы с зимней скользкостью и увеличении уровня выбросов отработавших газов при снижении скорости движения транспортных средств на скользком покрытии.

Для оценок загрязнения атмосферы автотранспортом, концентрации вредных примесей при различных погодных условиях рассчитывались с использованием модели Гауссова типа, в которой учтена скорость движения при различном состоянии дорожного покрытия и при различных погодных условиях. При расчете загрязнения от использования хлоридов нормы распределения ПГМ принимались в зависимости от вида зимней скользкости, используемой стратегии работ и погодных условий.

Для оценки эффективности решений, принятых в процессе оперативного управления в условиях неопределенности погодных воздействий, обосновано использование метеоролого-экономических моделей (МЭМ) в виде платежных матриц. Элементы платежных матриц учитывают потери потребителя при неблагоприятных погодных воздействиях и при различных схемах использования прогностической информации, что позволяет объединить в едином показателе все выходные параметры системы оперативного управления.

При выводе формул для расчета элементов матриц учтено, что государственная служба дорожного хозяйства является специфической отраслью экономики, оказывающей услуги пользователям дорог. Она постоянно затрачивает выделяемые ресурсы на обеспечение непрерывного и безопасного проезда. Результат деятельности дорожных организаций реализуется в работе автотранспорта и, следовательно, сфера получения экономического эффекта не совпадает со сферой приложения затрат. Оценка эффекта (выигрыша) от использования специализированной метеорологической информации при зимнем содержании дорог может производиться только в дорожно-транспортном комплексе с учетом затрат и эффекта, получаемого как в дорожном хозяйстве, так и у пользователей дорог.

Выведен обобщенный показатель, учитывающий в денежном выражении все потери ($\Pi_{слу}$), которые имеют место при сложных погодных условиях. Учитывая указанную выше специфику, они разделены на две составляющие:

- затраты дорожных организаций на работы по зимнему содержанию ($Z_{зо}$),
- потери в дорожно-транспортном комплексе от неудовлетворительных дорожных условий - снижения скорости движения на скользком покрытии ($\Pi_{у}$),

возможные потери от дорожно-транспортных происшествий ($P_{ДТП}$), экологический ущерб, наносимый окружающей среде ($P_{ЭК}$):

$$P_{СПУ} = Z_{ДО} + P_{У} + P_{ДТП} + P_{ЭК} \quad (22)$$

Для каждой стратегии работ приведены расчетные зависимости, позволяющие определить все составляющие в формуле (22).

При альтернативной ситуации (наличие скользкости или ее отсутствие) дорожная организация принимает одну из двух стратегий - проводить (d_1) или не проводить (d_2) работы по борьбе с зимней скользкостью. В этом случае МЭМ представлена в виде:

Метеорологические условия / состояние дорожного покрытия	Выбранная стратегия	
	d_1	d_2
F_1 (наличие скользкости)	S_{11}	S_{12}
F_2 (отсутствие скользкости)	S_{21}	S_{22}

(23)

В общем случае в матрице потерь элементы имеют следующий смысл:

S_{11} - суммарные потери, складывающиеся из затрат на проведение защитных мероприятий (работ по борьбе с зимней скользкостью) и непредотвратимых потерь от осуществившегося опасного погодного явления (скользкого покрытия),

S_{21} - затраты дорожной организации на защитные мероприятия,

S_{12} - потери дорожной организации при внезапном возникновении опасного погодного явления, когда защитные мероприятия предварительно не применялись,

S_{22} - потери дорожной организации при отсутствии опасного погодного явления ($S_{22} = 0$).

Разработаны алгоритмы реализации математических моделей, описывающих функционирование системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью, разработано программное обеспечение для проведения вычислительных экспериментов.

В четвертой главе рассмотрены научные основы экспериментальных исследований системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью. Целью проведения опытно-экспериментальных работ является получение информации о функционировании системы оперативного управления. Она достигается средствами натурного и вычислительного экспериментов.

Все математические модели, рассмотренные в третьей главе, разделены на три группы.

К первой группе отнесены математические модели расчета температуры дорожного покрытия по метеорологическим данным, формирования состояния дорожного покрытия под воздействием погодных и дорожных факторов, интенсивности снегонакопления при метелях. Для проведения теоретических исследований необходима оценка адекватности этих моделей по результатам экспериментальных исследований. В диссертации приведены специально разработанные методики проведения опытно-экспериментальных исследований, состав приборов, порядок проведения работ и их результаты. Измерение температуры дорожного покрытия проводилось в зимний период на специальной опытной площадке

с 4 различными конструкциями дорожной одежды и на участке автомагистрали Дон в пределах ДРСУ-9.

Оценка адекватности математических моделей, описывающих состояние дорожного покрытия, проводилась по данным:

- журналов опытно-экспериментальных работ;
- журналов дежурств в дорожных организациях, проводящих работы по борьбе с зимней скользкостью;
- наблюдений за состоянием взлетно-посадочной полосы в зимний период.

Для проверки адекватности моделей интенсивности накопления метелевого снега сопоставлялись рассчитанный объем снегоотложений на земляном полотне с фактическим объемом, определенным при снегомерных съемках, и в валах, образовавшихся на обочине после снегоочистки покрытия. Измерения проводились на опытных участках дороги, при выборе которых учитывалось: наличие всех элементов поперечного профиля, для которых разработаны модели, отсутствие снегозащиты, различное направление участков дороги.

Основные результаты опытно-экспериментальных работ приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты проверки адекватности математических моделей

Оцениваемый параметр	Источник информации для оценки адекватности моделей	Объем информации (количество наблюдений, измерений)	Среднее значение относительной погрешности, %
Температура покрытия	Опытно-экспериментальные работы в ДРСУ-9	Более 2500	13,4
Состояние дорожного покрытия	Журналы дежурств ДРСУ-9	570	14,6
	Журнал состояния ВПП аэропорта	638	
	Журнал записи наблюдений на опытном дорожном метеорологическом посту	1694	
Интенсивность снегонакопления	Снегомерные съемки на автомагистрали КРЫМ	8 участков	11,2
	Снегомерные съемки на автодорогах Воронежской области	18 участков	

Во вторую группу вошли физико-статистические модели производственно-технологических предупреждений, адекватность которых оценивалась теоретически. К третьей группе отнесены модели, описывающие выходные параметры системы оперативного управления и метеоролого-экономические модели, оценка адекватности которых не проводилась.

Разработан план проведения вычислительных экспериментов, включающий описание содержания и цели основных этапов, необходимую исходную информацию. Предложены три схемы проведения вычислительных экспериментов для:

- расчета и проверки оправдываемости физико-статистических моделей производственно - технологических предупреждений,
- расчета параметров снегопадов и интенсивности снегонакопления при метелях,

- расчета метеоролого-экономических моделей.

Для проведения вычислительных экспериментов разработано прикладное программное обеспечение, реализующее специально разработанные алгоритмы, и стандартные алгоритмы дискриминантного анализа. Для расчетов использовались также стандартные программы, входящие в MS Office Professional и системы управления базами данных.

В пятой главе приведены результаты теоретических исследований системы оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. Исходными данными для проведения исследований стали архивы метеорологической информации с данными срочных наблюдений на метеостанциях Государственной наблюдательной сети, приобретенные в различные годы в подразделениях Росгидромета на договорной основе. Состав метеорологической информации приведен в табл. 3. При моделировании по каждой из областей использовались данные одной метеостанции.

Таблица 3

Состав метеорологической информации, используемой для проведения вычислительных экспериментов

Область	Метеостанция	Период наблюдения
Воронежская	Воронеж	1968-1990
Московская	Кашира	1964-1979
Орловская	Мценск	1977-1997
Псковская	Псков	1984-1996

Для исследования условий образования различных видов зимней скользкости в результате проведения вычислительных экспериментов сформированы виртуальные архивы состояния дорожного покрытия в зимний период.

Исследованиями установлено, что образованию скользкости в виде стекловидного льда предшествует ярко выраженная тенденция изменения таких метеорологических параметров, как атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха. Она имеет место во всех исследованных регионах (см. табл. 3), несмотря на различие в частоте образования этих видов скользкости. Получены диаграммы, отражающие тенденцию изменения этих параметров и законы их распределения в момент образования скользкости, за 3, 6 и 9 ч до ее образования. Результаты статистической обработки выявили для исследуемых параметров следующие законы распределения:

- нормальный

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (24)$$

- Вейбулла

$$f(x) = n\mu^n x^{n-1} e^{-\mu^n x^n} \quad (25)$$

- показательный

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, \quad (26)$$

для которых определены параметры законов и границы доверительных интервалов разброса средних значений для различной доверительной вероятности.

Для такого вида скользкости, как *гололедица* (см. табл.1) наблюдается тенденция повышения атмосферного давления (в течение суток до образования скользкости), понижения температуры и относительной влажности воздуха (за 6-12 ч до образования скользкости). Установлено, что температура воздуха распределена по нормальному закону за 3, 6 и 9 часов до образования скользкости и по закону Вейбулла - в момент образования гололедицы. Анализ средних значений подтверждает, что наблюдается ее устойчивое понижение. Расчеты показали, что до образования гололедицы может выпасть значительное количество осадков (верхняя граница доверительных интервалов более 3 мм), однако в 92 % случаев выпадение осадков прекращается, за 4-6 ч до возможного формирования гололедицы. Часть осадков за этот период времени испарится, но большая часть может быть удалена с покрытия за счет поперечного уклона проезжей части и оставшееся количество влаги на покрытии не уменьшит концентрацию ПГМ, используемых для профилактики или ликвидации данного вида зимней скользкости. Температура дорожного покрытия имеет те же законы распределения, что и температура воздуха, но она всегда выше температуры воздуха из-за тепловой инерции дорожной конструкции (разность составляет до 2,6 °С). Так как образования гололедицы идет при понижении температуры воздуха, получен закон распределения ее минимальных значений в дни с возможным образованием гололедицы. Исследования позволили сделать вывод о том, что для принятия решения о выборе норм распределения ПГМ при образовании гололедицы необходим прогноз минимальной температуры воздуха, который следует запрашивать в подразделениях Росгидромета.

Для *твердого налета и гололеда* (см. табл. 1) выявлено, что они имеют сходную тенденцию изменения метеорологических параметров, предшествующую их образованию, но отличаются состоянием выпадающих жидких осадков (гололед образуется при выпадении переохлажденных дождя или мороси, а твердый налет - при выпадении непереохлажденных жидких осадков). Для исследований эти два вида скользкости были объединены в один (для него использован термин «гололед»). Для этого вида зимней скользкости наблюдается тенденция понижения атмосферного давления и одновременного повышения температуры и относительной влажности воздуха. Количественное описание этих процессов получено с помощью законов распределения параметров в различные моменты времени, предшествующие образованию гололеда. Образование данного вида скользкости идет при выпадении осадков и верхняя граница доверительных интервалов средних значений количества осадков составляет более 2 мм (более 2 л осадков на 1 м²), что может снизить концентрацию ПГМ на дорожном покрытии.

Температура дорожного покрытия имеет те же законы распределения, что и температура воздуха, но при этом она всегда ниже ее (разность может составить более 3°С). По результатам исследований сделан вывод о том, что при назначении норм распределения ПГМ при образовании гололеда необходимо ориентироваться на значения температуры дорожного покрытия и учитывать количество выпавших осадков.

Такой вид зимней скользкости как «*черный лед*» в континентальной части России в зимний период отмечается крайне редко (по результатам моделирования - от 2 % до 4 % от общего количества случаев зимней скользкости в виде стекловидного льда). Из-за малого объема статистической выборки, данный вид скользкости в работе не исследовался.

Для III и IV стратегий работ исследованы параметры, влияющие на организацию работ по снегоочистке: продолжительность (количество циклов снегоочистки и значения выходных параметров системы), количество выпавших осадков (объемы работ), интенсивность снегонакопления (время между проходами снегоочистителей). Получены законы распределения, описывающие эти параметры. Так как при спокойном снегопаде влияние особенностей дорожных условий не проявляется (снег откладывается ровным слоем на всем протяжении дороги), сделан вывод о том, что производственно-технологические предупреждения (ЛТП) для данных стратегий работ могут быть получены на основе информации из подразделений Росгидромета с прогнозами осадков и их интенсивности, детализированной по территории или по маршрутам отдельных дорог

Особое внимание в работе уделено оценке интенсивности снегонакопления на дорожном покрытии при метелях. Обосновано «пороговое» значение максимальных объемов снегоприноса $W_{кр,п} = 5 \text{ м}^3/\text{м}$, которые к моменту начала снегоочистки приводят к накоплению на дорожном покрытии слоя рыхлого снега максимально допустимой толщины, регламентируемой нормативными документами. Результаты статистической обработки данных моделирования позволили сделать вывод о том, что расчетные значения интенсивности снегонакопления на дорожном покрытии при метелях немного превышают интенсивность снегонакопления от снегопадов. Следовательно, при расчете параметров патрульной снегоочистки необходимо учитывать метелевый перенос снега. Расчеты выявили существенное влияние дорожных условий (направление участка дороги, продольный профиль, поперечные профили и ширина земляного полотна) на расчетные параметры интенсивности снегонакопления от метелей. В связи с этим сделан вывод о том, что для производственно-технологических предупреждений с параметрами патрульной снегоочистки необходимо проведение расчетов по специальным алгоритмам, которые учитывают влияние особенностей отдельных участков дороги на снегонакопление при метелях (стратегии III, IV).

Результаты статистической обработки метеорологических и дорожных параметров использовались для оценки адаптивности различных стратегий работ к погодным воздействиям с использованием метеоролого-экономических моделей. Получена количественная оценка реакции объекта управления на неуправляемые погодные воздействия. В диссертационной работе элементы платежных матриц (23) выражены через затраты дорожной организации на проведение защитных мероприятий ($S_{зд}$) и потери пользователей дорог при неблагоприятных условиях движения ($S_{п}$):

$$S = S_{зд} + S_{п}, \quad (27)$$

Выведены расчетные формулы для параметров, по которым в метеорологии оценивается адаптивность потребителя к погодным воздействиям.

Результаты исследований с использованием метеоролого-экономических моделей представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты исследований адаптивности различных стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью к погодным воздействиям

Стратегия	Описание исследуемой ситуации	Выводы по результатам расчетов
I	Работы по ликвидации зимней скользкости проводятся в директивный срок	Защитные свойства потребителя неудовлетворительны, технологии защиты отсутствуют, и потери по метеорологическим условиям не предотвращаются, анализируемая стратегия не является «метеочувствительной» даже при условии достаточно жестких требований к уровню содержания дороги
I	Продолжительность проведения работ превышает нормативные сроки по причине несовершенства специализированных дорожных прогнозов	Исследуемая стратегия работ попадает в зону адаптации при интенсивности движения более 7000 авт/сут и в том случае, если превышение нормативного срока составляет более 5ч. (при этих условиях сказывается влияние некачественных прогнозов). Для дорог высоких технических категорий такое превышение не допускается стандартами, следовательно, рассматриваемый случай также подтверждает тот факт, что стратегия ликвидации зимней скользкости не является метеочувствительной.
I	Работы по ликвидации гололедицы проводятся с учетом прогноза минимальной температуры воздуха	Данная схема организации работ попадает в зону адаптации и прогнозы минимальной температуры воздуха при угрозе образования гололедицы позволяют получить экономический эффект не только пользователям дорог, но и дорожной организации
II	По данным прогноза проводятся профилактические работы по предотвращению образования скользкости	Потери предотвращаются практически полностью, меры защиты кардинальны, профилактические работы адаптивны к прогнозу и предпочтительны. Необходимо разработка алгоритмов и моделей производственно-технологических предупреждений для реализации на практике стратегий профилактики
III	Отложения рыхлого снега на дорожном покрытии, неправильный выбор параметров патрульной снегоочистки	Исследуемая ситуация не является адаптивной; при патрульной снегоочистке всегда есть определенный резерв времени, следовательно, более высокая по сравнению с прогнозом интенсивность выпадения осадков может быть всегда компенсирована рациональной организацией работы техники. Таким образом, эффективность III стратегии зависит от четкой организации работ, а не от качества прогноза метеорологических величин

Стратегия	Описание исследуемой ситуации	Выводы по результатам расчетов
III, IV	Прогнозирование отложений рыхлого снега, но формирование снежного наката	Расчеты показывают, что при профилактике образования снежного наката дорожные организации экономят ресурсы, и эффект в экономике государства растет пропорционально росту интенсивности движения, практика зимнего содержания дорог также
I, IV	Профилактика и ликвидация снежного наката на дорожном покрытии	показывает значительное предпочтение патрульной снегоочистки и профилактики образования снежного наката по сравнению с его ликвидацией. Однако, предлагаемые в метеорологии показатели это не отражают, и по их числовым значениям исследуемые ситуации не попадают в зону адаптивности. По результатам исследований сделан вывод, о необходимости проведения специальных исследований для учета специфики данных стратегий работ

Для реализации наиболее адаптивной к погодным условиям стратегии профилактики образования зимней скользкости в диссертации разработаны специализированные прогнозы состояния дорожного покрытия (производственно-технологические предупреждения).

Проведена оценка информативности погодных и дорожных параметров для расчета физико-статистических моделей производственно-технологических предупреждений (ПТП) в виде линейных дискриминантных функций. Для наиболее информативных параметров и их сочетаний рассчитаны 28 физико-статистических моделей ПТП и произведена теоретическая оценка их оправданности. Анализ результатов расчета позволил сделать выводы:

- Большинство из рассчитанных физико-статистических моделей позволяют получать ПТП для оперативного управления с высокой надежностью.
- Учет при расчетах информации о состоянии покрытия (для гололедицы) и осадков (для гололеда) позволяет повысить надежность ГПП.
- Расчету по физико-статистическим моделям должен предшествовать анализ тенденции изменения информативных погодных параметров по прогнозам погоды, полученным от подразделений Росгидромета.
- В этом случае для ПТП гололедицы можно использовать метеорологические параметры (температуру воздуха - T_a и относительную влажность воздуха - W) и информацию о состоянии покрытия (SP) без измерения температуры дорожного покрытия (T_p), что не сказывается на качестве прогнозов.
- Для того, чтобы получить ПТП гололеда с высокой надежностью необходим прогноз осадков и их агрегатного состояния (OS). При надежном прогнозе осадков наблюдается устойчивая высокая вероятность распознавания ситуаций с гололедом и без него при любом сочетании информативных параметров.
- При отсутствии прогноза осадков для данного вида зимней скользкости наиболее надежны ПТП, рассчитанные по следующим сочетаниям информатив-

ных параметров: (W) , $(T_{\bullet}, T_{\bullet}, W)$, (T_{\bullet}, W) , надежность результатов при этом приблизительно одинакова.

- Если расчету предшествует анализ тенденции изменения погодных параметров, то в производственно-технологических предупреждениях можно не использовать значения температуры покрытия, что не скажется на качестве распознавания.

Адаптация стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью к погодным воздействиям зависит от надежности специализированных прогнозов. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что практически все полученные в диссертации зависимости находятся в зоне активной адаптации и рассчитанные по виртуальному архиву статистической информации ПТП рекомендованы для оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью.

В шестой главе рассмотрена реализация результатов исследований в практику оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью в виде информационной технологии поддержки принятия решений. Результаты теоретических исследований позволили обосновать состав информационных ресурсов, необходимых для каждой стратегии работ и для каждого вида зимней скользкости, которые по источникам поступления разделены на три группы:

- информация, поступающая из подразделений Росгидромета;
- текущая погодная и дорожная информация с сети дорог,
- информация, характеризующая объект управления (автомобильная дорога и сооружения на ней) и ресурсы, на основе которых могут быть реализованы на практике те или иные стратегии работ по борьбе с зимней скользкостью.

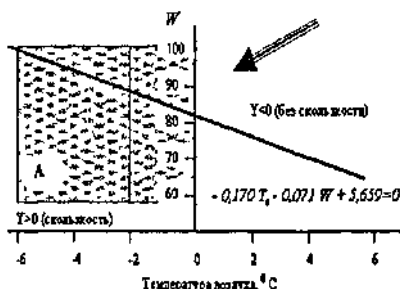
Детально проанализированы информационные метеорологические ресурсы первой группы, обоснован состав информации, который может быть реализован при оперативном управлении работами по борьбе с зимней скользкостью, выявлены причины, по которым этой информации недостаточно для перехода на профилактические работы.

Среди метеорологических информационных ресурсов особо выделена текущая информация - данные наблюдений на метеорологических станциях, которая до настоящего времени в практике специализированного метеообеспечения дорожных организаций не используется. Результаты, полученные в данной работе, позволили дать рекомендации по ее применению для расчета производственно-технологических предупреждений. Она может компенсировать отсутствие информации дорожных метеостанций при условии ее обработки по специальным алгоритмам. В работе предложены алгоритмы, основу которых составляют:

- анализ тенденции изменения информативных метеорологических параметров (по данным текущих наблюдений на метеостанции), их попадание в рабочие зоны (диапазоны изменения при образовании зимней скользкости различных видов),
- расчет знака дискриминантной функции.

Геометрическая интерпретация предложенных алгоритмов на примере двух параметров — температуры воздуха и относительной влажности воздуха, представлена на рис. 5

а) ППП образования гололеда



б) ППП образования гололеда

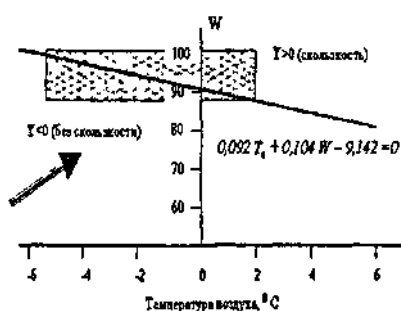


Рис. 5 Геометрическая интерпретация расчета ППП образования скользкости по двум параметрам.

Разработаны пошаговые алгоритмы получения производственно-технологических предупреждения для III и IV стратегий работ с учетом вида осадков (снегопад, метель) и дорожных условий.

Рассмотрены две схемы информационного обмена в процессе оперативного управления работами по борьбе с зимней скользкостью:

- на основе метеорологических информационных ресурсов Росгидромета
- на основе информации автоматических дорожных метеостанций (АДМС).

Результаты исследования, приведенные в данной работе, позволили предложить на основе полученных математических моделей проект «виртуальной дорожной метеостанции». Закрепление такой станции за определенным участком дороги заключается в определении его географического положения и числовых значений дорожных параметров. Математические модели позволяют рассчитать по метеорологическим данным значения температуры дорожного покрытия и отслеживать тенденцию ее изменения (т.е. имитируют работу дорожного датчика), оценивать условия снегонакопления на дорожном покрытии. Логические конструкции (11)–(14) оценивают возможность формирования скользкости на дорожном покрытии. В данном проекте реализуются все разработанные алгоритмы производственно-технологических предупреждений, и он может быть предложен для регионов с любыми погодными-климатическими условиями. Исходными данными, подаваемыми на «виртуальную дорожную метеостанцию» могут быть текущие данные наблюдений с метеостанций Государственной сети или с сети АДМС. Схема информационного обмена для «виртуальной метеостанции» приведена на рис. 6.

Метеорологические информационные ресурсы и производственно-технологические предупреждения предложено реализовать в практику оперативного управления через регламент проведения работ (см. рис. 3). В диссертационной работе предложены правила разработки такого регламента в виде двух таблиц, содержащих следующую информацию:

- вид зимней скользкости, значения метеорологических и дорожных параметров, которые необходимо контролировать,

- погодные параметры, прогноз которых необходимо иметь,
- рекомендации по применяемым материалам (сухие, увлажненные соли, рассолы, фрикционные материалы),
- рекомендации по выбору норм распределения ПГМ,
- параметры патрульной снегоочистки



Рис. 6. Схема информационного обмена для проекта «виртуальной дорожной метеостанции»

Реализация результатов исследований в практику работы диспетчерской службы предложена в виде электронных журналов, которые на основе обработки имеющейся погодной и дорожной информации предоставляют дежурному рекомендации в виде прогноза погодных условий, технологий проведения работ, выбору вида и норм распределения противогололедных материалов. Журналы позволяют автоматизировать процедуры накопления статистической информации о состоянии дорожного покрытия и вести учет выполненных работ.

В диссертации приведена оценка экономической эффективности применения различных стратегий работ при использовании погодных и дорожных информационных ресурсов. Расчеты проведены в базисных ценах 1991 года. В качестве базового варианта принята стратегия ликвидации зимней скользкости, которая не является метеочувствительной. Расчеты проводились с использованием метеоролого-экономических моделей. Они показали, что переход на профилактику образования зимней скользкости позволяет получить в дорожной организации экономический эффект от 30,7 до 63,3 р на 1 приведенный километр дороги для одного случая предотвращения зимней скользкости. Эффект, получаемый пользователями дорог зависит от интенсивности движения и оценивается предложенными уравнениями регрессии.

Представлено внедрение результатов исследований.

Общие выводы

1. Комплекс выполненных теоретических и экспериментальных исследований представляет собой решение актуальной научной проблемы совершенствования оперативного управления эксплуатацией автомобильных дорог в зимний период и обоснования выбора оптимальных по погодным условиям стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью. Результаты проведенных исследований создают предпосылки для внедрения в практику зимнего содержания дорог ресурсосберегающих технологий профилактики образования зимней скользкости.

2. На основе системного анализа разработаны теоретико-множественные модели трех типов, различающиеся по целевому назначению. Модель внутренней структуры системы Среда-Дорога описывает в общем виде процесс формирования скользкости на дорожном покрытии; состояние дорожного покрытия представлено классификацией видов зимней скользкости, отличающейся от ранее известных учетом различий в физике образования каждого из видов и совместного влияния погодных и дорожных факторов. Модель функционирования системы описывает взаимодействие дороги, как объекта управления, с внешней средой; управляющие воздействия в модели впервые представлены набором стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью, учитывающих особенности технологий проведения работ при различных погодных условиях. Информационная модель в виде ориентированного графа отображает задачи сбора и переработки информации, которая используется для обоснования стратегий работ.

3. Впервые предложены логико-математические модели, описывающие условия формирования на дорожном покрытии скользкости в виде стекловидного льда. В качестве дорожного параметра в указанные модели введена температура дорожного покрытия, для расчета которой использовано одномерное уравнение нестационарной теплопроводности, описывающее температурный режим в многослойной дорожной конструкции и грунтовом полупространстве. Адекватность моделей подтверждена опытно-экспериментальными исследованиями. Проведение вычислительных экспериментов с использованием этих моделей впервые позволило получить по данным наблюдений метеостанций расчетную информацию для исследования условия образования скользкости на дорожных покрытиях и ее прогнозирования.

4. Образование зимней скользкости в виде снежных отложений впервые исследовано с помощью математических моделей, учитывающих различия интенсивности снегонакопления при метелях на снегозаносимых насыпях в раскрытых и нераскрытых выемках. Адекватность моделей подтверждена результатами специально организованных экспериментальных исследований. Модели позволяют решать задачи оперативного управления - корректировать параметры патрульной снегоочистки с учетом геометрических параметров поперечного профиля земляного полотна на отдельных участках дороги.

5. Впервые разработаны временные диаграммы, отражающие нормативные требования к уровню содержания дорог и особенности различных стратегий работ. Они позволяют оценить решения, принятые в процессе оперативного управления, и объединить комплекс выходных параметров - затраты на проведение ра-

бот, скорость движения транспортных потоков, безопасность движения и экологическое состояние придорожных территорий в едином показателе - потерях в сложных погодных условиях. Предложенный показатель введен в метеоролого-экономические модели, представленные в виде суммы двух матриц, отражающих затраты дорожных организаций на борьбу с зимней скользкостью при различных вариантах использования погодной информации и потери пользователей дорог при неблагоприятных условиях движения, что отличает их от моделей, известных в метеорологии. Они позволили оценить эффективность применения различных стратегий работ по борьбе с зимней скользкостью в зависимости от прогнозируемых погодных условий.

6. Установлено, что специализированный прогноз образования зимней скользкости в виде стекловидного льда может быть получен с помощью линейных дискриминантных функций, включающих как метеорологические, так и дорожные параметры. Впервые рассчитаны прогностические зависимости для наиболее информативных параметров и их сочетаний и теоретически оценена их оправданность. Они позволяют с необходимой заблаговременностью получить предупреждение о возможности образования скользкости для проведения профилактических работ.

7. Результаты исследований могут быть внедрены в практику оперативного управления зимним содержанием дорог в виде информационной технологии поддержки принятия решений, которая включает в себя: погодные и дорожные информационные ресурсы, алгоритмы их переработки, регламент проведения работ, отличающийся учетом условий образования различных видов скользкости и возможностью подстройки под ресурсы конкретной дорожной организации. Для подсистемы погодного мониторинга впервые предложен проект «виртуальной» дорожной метеостанции, позволяющей на основе расчета по разработанным моделям получать предупреждение об образовании любого вида зимней скользкости. Это делает возможным внедрение такого проекта в регионах с различными погодно-климатическими условиями.

8. Внедрение результатов исследований позволит дорожным организациям повысить эффективность использования ресурсов на зимнее содержание за счет выбора оптимальных по погодным условиям стратегий работ. Количественное значение экономического эффекта, получаемого за счет улучшения условий движения зависит от интенсивности движения по дороге и может быть рассчитан по предложенным в работе уравнениям регрессии.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Самодурова Т.В. Проблема прогнозирования зимней скользкости дорог и пути ее возможного решения; Воронежский инж.-строит.ин-т. -Воронеж, 1985. - 14 с. - Библиогр. 3 назв. -Рус, Деп. в ВНИИИС Госстроя СССР, № 6061.
2. ВСН 20-87. Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. -Введ. 01.07.88. - М: Транспорт, 1988. -41 с. (лично соискателем, совместно с канд.техн. наук Меркушовым Н.В. разработаны разделы 3-5 Приложения 9 «Пособие по организации метеорологических постов в дорожно-эксплуатационных организациях).

3. Самодурова Т.В. Предотвращение зимней скользкости на дорогах на основе анализа метеорологической информации // Материалы междунар.научн. конф. «Безопасность движения», ноябрь 1990 г, Таллинн.-Таллинн, 1990.-С 193-195.

4. Резванцев В.И., Гладышева И.А., Самодурова Т.В. Уточнение руководящей рабочей отметки земляного полотна по условию снегонезаносимости с учетом рельефа // Известия вузов. Строительство. -1996. -№9. - С.98-103. (лично соискателем разработана программа для ПЭВМ, проведены вычислительные эксперименты, проанализированы)

5. Samodurova T. Ice prediction on road covering: both traffic safety and environment problems // 10-th International Conference of Women Engineers and Scientists «Towards the Third Millennium: The Role of the Intellectual Potential in a New World». Budapest, Hungary, October, 1996. - P. 115-120

6. Самодурова Т.В. Оценка информативности параметров, влияющих на образование гололеда, по результатам вычислительного эксперимента // Сб. науч. тр / Специальный выпуск журнала Известия вузов. Радиофизика. — Том 4. -Вып. 2 — КНовгород: НИРФИ, 1997. - С. 92-96.

7. Самодурова Т.В. О необходимости создания специализированной системы метеорологического обеспечения зимнего содержания дорог // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Современные проблемы дорожно-транспортного комплекса», сентябрь 1998 г, Ростов-на-Дону. - Ростов-на-Дону, 1998 . - С. 135-137.

8. Резванцев В.И., Гладышева И.А. Самодурова Т.В. Гладышева О.В Учет зимних условий при проектировании автомобильных дорог // Известия вузов. Строительство. -1998. -№9. - С.82-86. (лично соискателем предложена обобщенная модель функционирования системы «Среда-Дорога» в зимний период, разработана программа расчета количества снега в выемке, проведены вычислительные эксперименты).

9. Самодурова Т.В. Математическая модель для оценки степени загрязнения придорожной полосы хлористыми солями // Экологический вестник Черноземья, - Вып. 6, - Воронеж, Менеджер, 1999. -С 106-112.

10. Самодурова Т.В. Оптимальные технологии зимнего содержания дорог - путь к улучшению экологической ситуации в придорожной полосе // Сб. научн. тр. 2 Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в экологии» , -Воронеж, 1999. - С 144-148.

11. Самодурова Т.В. Специализированные дорожные прогнозы образования скользкости - основа улучшения экологического состояния придорожных территорий // Сб. научн. тр. Международного научно-практического симпозиума «Дорожная экология 21 века», - Воронеж, 2000. - С. 290-295.

12. Samodurova T. Models for short-term road ice formation forecast // 10-th International Road Weather Conference, Davos, Switzerland, March, 2000, - P.25-31.

13. Астахова И.Ф., Самодурова Т.В., Ларин А.В. Разработка баз знаний в отраслях строительной индустрии // Математическое моделирование информационных и технологических систем: Сб.науч.тр., - Вып.4, -Воронеж, 2000. -С.70-72. (лично соискателем описано применение основных подходов к разработке баз знаний для решения задачи управления зимним содержанием дорог).

14. Самодурова Т.В. Погода под контролем // Автомобильные дороги. -2000. - №8. - С.36.

15. Подольский Вл.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Экологические аспекты зимнего содержания автомобильных дорог. -Воронеж. ВГАСА, 2000. -152 с. (лично соискателем проведены исследования, представленные в п.п. 2.3, 2.5-2.8, 3.1, 3.2, 4.1, 5.1, 5.2, 5.3).

16. Самодурова Т.В. Совершенствование управления зимним содержанием дорог на основе метеорологического обеспечения//Повышение качества строительных работ, материалов и проектных решений:Сб.научн.тр. -Брянск,2000.- С.78-81.

17. Самодурова Т.В. Специализированные дорожные прогнозы - основа улучшения экологической ситуации придорожной территории // Метеоспектр. - 2000. -№2. -С. 128-131.

18. Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Оценка эффективности и экологической безопасности различных схем организации работ по зимнему содержанию дорог // Сб. научн. тр. 4 Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в экологии» -Воронеж, 2001. - С 153-158. (лично соискателем разработаны схемы организации работ по зимнему содержанию дорог, правила выбора нормы распределения противогололедных материалов и обоснована необходимая погодная информация)

19. Самодурова Т.В. Учет погодно-климатических особенностей Сибири при зимнем содержании автомобильных дорог //Планирование затрат и система оценки уровня зимнего содержания автомобильных дорог, -Кемерово. 2001. -С. 23-31.

20. Samodurova T., Fedorova J. Mathematical Modeling of Air Pollution within a Roadside Strip in Winter Period // I-st SIAM-EMS Conference «Applied Mathematics in our Changing World" Berlin, Germany, September, 2001. -P. 58-59. (лично соискателем разработана математическая модель формирования зимней скользкости на дорожном покрытии)

21. Самодурова Т.В. Возможности использования ГИС и информационных технологий в управлении зимним содержанием автомобильных дорог // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. -2002. -№ 4-5. -С. 52-53.

22. Самодурова Т.В. Зарубежный опыт специализированного метеорологического обеспечения дорожных организаций // Сб. науч. тр / ВНИИГМИ- МЦД. - 2002. - Вып. 169, Проблемы экономической полезности использования гидрометеорологической информационной продукции. - С. 100-112.

23. Самодурова Т.В. Использование метеорологических информационных ресурсов в дорожном хозяйстве // Сб. науч. тр / ВНИИГМИ- МЦД. -2002. - Вып. 169, Проблемы экономической полезности использования гидрометеорологической информационной продукции. - С. 113-126.

24. Самодурова Т.В., Козлов О.Н., Панферов К.В. Материально-технические и информационные ресурсы в системе управления зимним содержанием дорог // Сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции «Строительство 2002», Часть 1, РГСУ, Ростов-на-Дону, 2002, С. 69-70. (лично соискателем разработана каноническая модель процессов оперативного управления зимним содержанием дорог)



25. Самодурова Т.В. Андреев А.В. Математические модели и вычислительный эксперимент при решении задач зимнего содержания дорог // Сб. научн. тр. 9 Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование», январь 2002г, Дубна. -М., 2002. -С. 464-469. (лично соискателем разработана классификация видов зимней скользкости и математические модели, описывающие их образование на дорожных покрытиях).

26. Самодурова Т.В. Информационные технологии в управлении зимним содержанием автомобильных дорог // Дороги России. - 2002. -№1. - С.99-100

27. Самодурова Т.В. Специализированное метеорологическое обеспечение в системе управления зимним содержанием дорог//Дороги России. -2002. -№1. - С.96-97.

28. Самодурова Т.В. Экологические показатели в системе управления зимним содержанием автомобильных дорог // Сб. научн. тр. 5 Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в экологии». -Воронеж, 2002. - С 50-55.

29. Samodurova T. Estimation of significance the parameters, influencing on road ice formation (the results of computing experiment) / 11-th International Road Weather Conference, Sapporo, Japan, January, 2002. - 6 p.

30. Самодурова Т.В. Специализированные дорожные прогнозы и ресурсосберегающие технологии зимнего содержания дорог на их основе // Материалы научно-технической конф. «Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса», 4-5 февраля 2003 г, МАДИ, Москва, -М., 2002.-С.139-141.

31. Самодурова Т.В. Системный подход к решению задач управления зимним содержанием дорог // Сб. научн. тр. VI Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», 2-5 июля 2002 г, С. Петербург, -С.-Пб., 2002. - С. 193-197.

32. Самодурова Т.В. Совершенствование управления зимним содержанием дорог на основе специализированной метеорологической информации // Сб. научн. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы современного дорожного строительства и хозяйства», 2-5 октября 2002 г, Вологда.-С. 132-135.

33. Самодурова Т.В. Специализированное метеорологическое обеспечение зимнего содержания дорог //Техника для городского хозяйства. — 2002. - № 3. - С.31-33.

34. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог /Ассоциация «РАДОР» -М.: ТИМР, 2003. -183 с.

35. Самодурова Т.В. Метеорологическая информация и специализированные прогнозы в системе оперативного управления зимним содержанием дорогУ/ Современные технологии и материалы для содержания автомобильных дорог: Материалы междунар. науч.-техн. конф. -Могилев: МГТУ, 2003. - С.128-130.

36. Самодурова Т.В., Соболев Д.Е. Экспертные системы в оперативном управлении зимним содержанием автомобильных дорог// // Сб. научн. тр. 6 Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в экологии».- Воронеж, 2003. - С 65-68. (лично соискателем разработана классификация стра-

тегий работ по зимнему содержанию и обоснован выбор задач, для решения которых создается экспертная система).

37. ОДМ. Методические рекомендации по разработке проекта содержания автомобильных дорог. - Утв. 9.10.2002. распор. Минтранса РФ № ОС- 859-р. -М.: Информавтодор, 2003. -39 с. (соискатель участвовала в разработке раздела 5. Мероприятия по зимнему содержанию (пп. 5.2.1,5.2.2)

38. Подольский Вл.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В. Экология зимнего содержания автомобильных дорог. -М., 2003. —96 с. - (Автомобильные дороги и мосты: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып.3) (лично соискателем написаны разделы 2.1,2.5, 3.2,3.3,4.1,4.2,4.3)

39. Самодурова Т.В., Андреев А.В. Исследование условий образования различных видов зимней скользкости на покрытиях автомобильных дорог // Известия вузов. Строительство. -2003. -№5. - С.91-96. (лично соискателем предложена классификация видов зимней скользкости, обоснованы метод исследования и проверка адекватности модели)

40. ОДМ. Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. - Утв. 16.06.2003. распор. Минтранса РФ № ОС-548-р. -М: Информавтодор, 2003. -72 с. (лично соискателем переработан раздел 2. Дорожная классификация зимней скользкости, разработан раздел 3.3. Дорожное метеобеспечение).

41. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог: Научные основы: Монография/Г.В. Самодурова; Воронеж, архит.-строит. ун-т. - Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. ун-та, 2003. -168 с.

42. Самодурова Т.В. Математические модели для оценки выходных параметров системы оперативного управления зимним содержанием дорог // Вестник ВГАСУ. Дорожно-транспортное строительство. -2003. - №1. -С. 150-156.

43. Самодурова Т.В. Гладышева О.В. Определение количества метелевых снегоотложений на земляном полотне автомобильных дорог // Известия вузов. Строительство. -2003. -№8. - С. 94-100. (лично соискателем выполнено моделирование снеготранспортируемости насыпи, разработан алгоритм и программная реализация математических моделей на ПЭВМ)

44. Самодурова Т.В. Гладышева И.А.Гладышева О.В. Снеготранспортируемость автомагистралей с барьерными ограждениями // Наука и техника в дорожной отрасли. -2003. - № 3. -С. 30-32. (лично соискателем разработаны схемы снегоотложений у барьерных ограждений, работающих как сплошная снеготранспортирующая преграда).

Подписано в печать 14.04 2004 г. Формат 60x84 1/16

Бумага для множительных аппаратов. Уч. изд. л – 2,0.

Усл.-печ. л. - 2,1. Тираж 120 экз. Заказ № 164

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии

Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, ВГАСУ

11084