УДК 656.052.53

© Г. В. Заболотников, канд. геогр. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации)
E-mail: zabolotnicovgv@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-117-125

© G. V. Zabolotnikov, PhD in Sci. Geogr.,
Associate Professor
(St. Petersburg State University of Civil Aviation)
E-mail: zabolotnicovgv@mail.ru

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ЛИВНЕВОГО ДОЖДЯ

NEW APPROACHES TO TRAFFIC SAFETY PROVISION IN CONDITIONS OF INTENSIVE RAIN SHOWERS

Направленность современного специализированного метеорологического обеспечения автомобильного транспорта предполагает реализацию возможности оперативного предоставления участникам дорожного движения актуальной информации о текущих погодных условиях. Одним из перспективных направлений реализации инновационных подходов повышения безопасности является разработка системы информирования водителей о метеорологических и дорожных условиях движения на впереди лежащем участке автомагистрали на основе использования актуальных технологий now casting. Интеграция современных методик мониторинга ливневых осадков посредством доплеровского метеорологического радиолокатора и потенциала автоматической системы метеорологического обеспечения (АСМО) позволяет значительно повысить уровень безопасности автомобильного движения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, автомобильный транспорт, ливневый дождь, аквапланирование, сверхкраткосрочный прогноз погоды.

The focus of modern specialized meteorological support for road transport involves implementation of the possibility to provide traffic participants with prompt information on the current weather conditions. One of the promising directions of implementing innovative approaches to improvement of traffic safety provision is the development of a system aimed at informing drivers about the meteorological and road traffic conditions on the lying ahead section of the highway based on the use of modern «nowcasting» technique. Integration of modern techniques for monitoring heavy rainfall by means of the Doppler weather radar system and the automatic meteorological support system (ASMO) can significantly improve the road traffic safety.

Keywords: road traffic safety, automobile transport, rain showers, hydroplaning, «nowcasting».

В связи с возрастанием расчетных скоростей движения по современным автомагистралям в настоящее время безопасность автомобильного транспорта все в большей степени зависит от метеорологических условий. Современный подход к решению актуальной проблемы повышения безопасности движения по автомагистралям в неблагоприятных погодных условиях реализуется путем создания автоматизированной системы метеорологического обеспечения (АСМО) на основе реализации современных технологий сбора, обработки и доведения непосредственно до водителей транспортных средств (ТС) опера-

тивной информации о метеорологических условиях дорожного движения.

Из анализа научно-технических источников [1–9] следует, что реализуемые в настоящее время подходы по совершенствованию специализированного метеорологического обеспечения автомобильного движения имеют следующие недостатки:

- ограниченное использование потенциальных возможностей современных средств мониторинга погодных условий. АСМО в современном виде преимущественно сконцентрировано на направлении оптимизации работ дорожных

служб по поддержанию автомобильных дорог в зимний период в надлежащем состоянии;

- исключение из системы метеорологического обеспечения как объекта информирования водителя транспортного средства (ТС), являющегося ключевым компонентом взаимосвязанной системы «водитель–автомобиль–дорога–среда»;

- недостаточное внимание к такому направлению развития АСМО, как своевременное информирование водителей ТС о возникновении типичных для летнего сезона года опасных явлений погоды в целях принятия превентивных мер по обеспечению безопасности автотранспорта.

В настоящее время при решении комплексной проблемы метеорологического обеспечения движения по автомагистралям потенциальные возможности существующих технологий сбора и распространения метеорологической информации реализуются далеко не в полной мере, в том числе данные мониторинга воздушного пространства метеорологическими радиолокаторами (МРЛ) в части разработки сверхкраткосрочных прогнозов погоды (now casting) опасных ее явлений. В целях решения многогранной проблемы повышения безопасности дорожного движения одним из перспективных направлений развития АСМО автомобильного транспорта является решение задач, связанных с доведением в режиме реального времени актуальной оперативной информации о неблагоприятных погодных условиях на впереди лежащем участке маршрута движения непосредственно до водителей ТС, в том числе на основе использования технологий сверхкраткосрочного прогнозирования опасных явлений погоды.

Необходимость совершенствования системы специализированного гидрометеорологического обеспечения автотранспорта именно в летний период подтверждается выявленной из анализа повторяемости дорожно-транспортных происшествий (ДТП) зависимости, заключающейся в большом летнем максимуме и большом зимнем минимуме повторяемости ДТП для характерных субъектов Российской Федерации¹.

По мнению авторов, одна из причин роста количества ДТП в летний период, наряду с известным фактором увеличения дорожного трафи-

ка, — недостаточный учет негативного влияния на безопасность движения автотранспорта опасных явлений погоды, характерных для теплого периода года. Из всего комплекса погодных факторов и метеорологических явлений особую роль играют ливневые осадки, особенно их интенсивность [10].

Интенсивные осадки, в первую очередь дождь ливневого характера, оказывают комплексное негативное влияние на безопасность функционирования автотранспорта. Главными факторами риска, обусловленными ливневыми осадками применительно к автомобильному движению по скоростным автомобильным дорогам, являются:

1. Значительное ухудшение горизонтальной видимости.

Например, при интенсивности осадков 25 мм/ч видимость в осадках не превышает 1 км [2]. При больших скоростях движения автомобиля в условиях ливневого дождя нередко наблюдается снижение видимости пути из салона автомобиля до нескольких десятков метров, в том числе из-за эффекта «заливания» лобового стекла [11]. Образующаяся на нем пленка воды вызывает оптическое искажение визуальной картины дорожной обстановки, затрудняя зрительную работу водителя.

2. Значительное уменьшение коэффициента сцепления дорожного покрытия, увеличивающее тормозной путь и негативно сказывающегося на управляемости автомобиля.

3. Увеличение риска полной потери управления автомобилем вследствие возникновения эффекта аквапланирования при движении по автомагистрали, покрытой слоем жидких осадков [10, 12]. Из-за неровностей покрытия возможность образования на поверхности автомагистрали пленки воды толщиной более 4 мм авторы [10] предлагают считать дожди с интенсивностью более 0,2 мм/мин очень опасными.

В широком плане аквапланирование (гидропланирование, глиссирование) — это процесс возникновения гидродинамического клина в пятне контакта шины, сопровождающийся полной или частичной потерей сцепления, вызванный присутствием водяного слоя, отделяющего шины движущегося ТС. При динамическом глиссировании сцепление колес ТС с поверхностью автомагистрали практически полностью

¹ Корякин К. Статистика ДТП за 2013 г.: грустные результаты безграмотной политики. Сайт: Правовая защита автолюбителя. URL: <http://www.vashamashina.ru/statistika-dtp-2013.html>

пропадает: коэффициент сцепления уменьшается до значений $\mu = 0,02-0,05$ против $\mu = 0,6-0,7$ на сухой чистой автомобильной дороге или $\mu = 0,3-0,5$ на мокрой. Это представляет большую опасность для ТС, движущихся с большой скоростью, из-за почти полной потери эффективности колесного торможения [13]. Другая опасность динамического глissирования — резкое ухудшение путевой устойчивости и управляемости автомобилей, в результате чего они могут легко развернуться и выброститься за пределы своей полосы движения под воздействием динамических факторов и бокового ветра даже при скорости менее 5 м/с.

Глissирование может возникнуть как при значительном превышении интенсивности ливневого дождя относительно заложенной на этапе проектирования автомагистрали климатической нормы, так и при ненадлежащем качестве строительства и содержания дренажных конструкций и систем ливневой канализации автомобильной дороги. Расчеты и экспериментальные наблюдения показывают, что на гладких покрытиях динамическое глissирование может возникать при глубине воды или слякоти в 2–3 мм [12, 13]. При глубине слоя свыше 10 мм избежать его уже нельзя. Наличие на дорожном покрытии келейности и выбоин, образовавшихся в результате чрезмерного износа дорожного полотна, приводит к застою воды и образованию многочисленных луж большой площади. Это значительно снижает коэффициент сцепления, а также возрастает угроза появления эффекта аквапланирования.

В настоящее время наиболее полно эффект глissирования описан в [12–15]. Его физическая сущность состоит в том, что при движении колеса ТС по поверхности автомобильной дороги при наличии на ней сплошного слоя жидкости (воды, слякоти) глубиной не менее критической величины, под автомобильной шиной возникает головная волна, оказывающая гидродинамическое давление на пневматику [13, 14]. С увеличением скорости движения ТС (например, при разгоне автомобиля) гидродинамическое давление возрастает и при так называемой критической скорости глissирования вертикальная составляющая давления сравнивается по величине с вертикальной нагрузкой на колеса. С этого момента колеса как бы «всплывают» и начинают

скользить по слою жидкости. После возникновения глissирования головная волна жидкости перед колесами ТС начинает уменьшаться и при дальнейшем возрастании скорости исчезает совсем [13, 14].

Установлено [12–15], что на возникновение динамического глissирования наибольшее влияние оказывают глубина слоя и плотность жидкости, давление в пневматиках колес, рисунок и степень износа протекторов покрышки, а также структура поверхности покрытия. Учитывая постоянство давления в шинах, рекомендованных автопроизводителем, определяющий фактор возникновения глissирования — значение скорости движения ТС и толщина слоя жидких осадков на поверхности автомагистрали.

С точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения необходимо отметить, что адекватная скорость движения — единственный фактор, позволяющий в конкретных погодных условиях избежать неуправляемого «скольжения» автомобиля по дороге под воздействием аквапланирования. Для этого необходимо, чтобы водитель ТС объективно оценивал дорожную обстановку и своевременно снижал скоростной режим в зависимости от интенсивности дождя. В связи с этим в целях повышения безопасности дорожного движения одним из актуальных направлений совершенствования АСМО является разработка и внедрение подсистемы мониторинга ливневых осадков на автомагистралях.

Сильные осадки как опасное метеорологическое явление — это, как правило, дождь ливневого характера, отличающийся высокой интенсивностью (порой до 100 мм/ч). Такой дождь является продуктом развития мощных конвективных облачных систем. При этом даже в регионах с относительно низкой активностью грозовой деятельности в теплый период года регулярно отмечаются ливни большой интенсивности. В качестве примера можно отметить, что средняя интенсивность ливня, наибольшая из когда-либо зафиксированных, в Ленинградской области (г. Пушкин), составила за 5 минут 3,2 мм/мин (192 мм/ч). По данным, приведенным в [16], установлено, что средняя максимальная интенсивность дождей для Европейской территории России при грозах составляет 1,14 мм/мин (около 70 мм/ч).

Для ливневых осадков, как одного из опасных явлений, сопутствующих развитию грозовой деятельности, свойственна большая пространственно-временная изменчивость интенсивности. При этом ливневый дождь с экстремальными значениями интенсивности в зоне развития грозовой деятельности имеет достаточно ограниченную площадь, размеры которой сопоставимы с размерами конвективных ячеек. Применительно к рассматриваемой проблеме необходимо отметить, что по данным радиолокационных наблюдений за конвективными явлениями во Флориде установлено, что опасные для водителей ситуации создают ливневые ячейки диаметром 2–4 км [2]. Данный факт подтверждается результатами радиолокационных наблюдений на сети доплеровских метеорологических радиолокаторов (ДМРЛ) на Европейской территории России в различных синоптических ситуациях².

Изучению явления образования ливневых осадков и их эволюции посвящен ряд научных работ [17–21], авторами которых предложены различные методы прогноза их интенсивности.

Применительно к рассматриваемой проблеме существенным недостатком современных методов является недостаточная конкретизация прогноза ливневых осадков в пределах зоны ответственности метеорологического органа по интенсивности, времени и району возникновения. Относительно задач метеорологического обеспечения транспорта можно отметить, что в настоящее время отсутствуют оперативные методики прогноза интенсивности ливневых осадков, соответствующие требованиям мезомасштабного сверхкраткосрочного прогнозирования с заблаговременностью от нескольких минут до 1–2 часов.

Вместе с тем с оснащением органов метеорологического слежения радиолокационными комплексами нового поколения появилась возможность использовать данные радиолокационного мониторинга атмосферы для определения интенсивности ливневых осадков. Базовым продуктом современных ДМРЛ является информация о про-

странственном распределении полей облачности и связанных с ними явлений погоды. В первую очередь оперативная информация о наличии гроз, града, осадков и их фазового состояния, видимости в осадках и т. п. ДМРЛ в настоящее время — самое эффективное средство для наблюдения полей осадков и *определения* их характеристик [2]³. Использование ДМРЛ метеорологическими органами обеспечивает получение необходимой информации об осадках на площадях до 150 тыс. кв. км при достаточно высоком пространственном и временном разрешении. Прогноз интенсивности рассматриваемого явления в этом случае строится не на расчетных (прогностических), а на измеренных значениях радиолокационных характеристик облачности [17].

Несмотря на это в настоящее время потенциальные возможности ДМРЛ по получению информации в интересах метеорологического обеспечения автотранспорта используются далеко не в полной мере. Так, оперативные данные мониторинга погодных условий посредством ДМРЛ используются главным образом дорожными службами в интересах поддержания дорожного полотна автомагистралей в рабочем состоянии прежде всего при зимнем содержании автомобильных дорог. При этом в настоящее время потенциальные возможности ДМРЛ по определению интенсивности осадков и видимости в осадках в практике метеорологического обеспечения дорожного движения широкого использования не нашли. С точки зрения безопасности автомобильного движения использование потенциальных возможностей ДМРЛ обеспечит качественное повышение уровня специализированного метеорологического обеспечения автотранспорта и в целом решит проблему оперативного предоставления участникам и органам управления дорожным движением фактической и прогностической информации об условиях погоды, обусловленных выпадением интенсивных осадков, вдоль автомагистрали. Данный подход соответствует реализации метеорологическими органами технологий *now casting* в части прогнозирования ливневых осадков с заблаговременностью от нескольких минут до полутора-двух часов.

² Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2017. 122 с.

³ Там же.

Комплексное решение проблемы обеспечения безопасности автомобильного движения в условиях интенсивного ливневого дождя заключается в обеспечении водителей ТС данными как о фактических, так и прогностических значениях видимости пути и степени скользкости поверхности автомагистрали (коэффициента сцепления дорожного полотна), на впереди лежащем участке маршрута.

Упрощенная схема автоматической системы метеорологического обеспечения с подсистемой мониторинга интенсивности осадков автомагистрали представлена на рисунке.

Для обеспечения безопасности дорожного движения в условиях интенсивного дождя по видимости в рамках существующей АСМО целесообразно актуализировать подсистему предупреждения водителей ТС в режиме реального времени о значительном ухудшении путевой ви-

Упрощенная схема автоматической системы метеорологического обеспечения автомагистрали с подсистемой мониторинга интенсивности осадков:
1 — участок автомагистрали; 2 — автоматическая дорожная метеорологическая станция (АДМС); 3 — автоматический осадкомер; 4 — доплеровский метеорологический радиолокатор (ДМРЛ); 5 — датчик состояния дорожного полотна; 6 — динамическое табло дорожной обстановки; 7 — канал связи; 8 — центральное устройство АСМО; 9 — кучево-дождевое (грозовое облако); 10 — зона ливневого дождя; 11 — направление ведущего потока; 12 — генеральное направление смещения зоны осадков

димости на основе типовых датчиков видимости дорожных автоматических метеорологических станций (АДМС) (рисунок, 2).

В целях предупреждения водителей в режиме реального времени об угрозе потери контроля управляемостью ТС вследствие значительного снижения коэффициента сцепления дорожного покрытия и возникновения эффекта аквапланирования в условиях сильного ливневого дождя на впереди лежащем участке автостреды в состав АДМС необходимо включить датчики состояния поверхности дорожного полотна (ДСДП) (рисунок, 5) с функцией дистанционного измерения толщины слоя воды на поверхности дорожного полотна.

Реализация предлагаемого подхода возможна, например, при использовании совместных решений Консорциума Интегра и ООО «ОКБ Бурстройпроект» на основе платформы «Интегра-Планета-4D» с датчиком ДСПД и ДСПД-М, предназначенных для дистанционных измерений как температуры поверхности, так и толщины слоя воды, снега, льда на поверхности дорожного полотна. По результатам измерений микропроцессором рассчитывается коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью дорожного полотна (Датчики состояния поверхности дорожного полотна ДСПД и ДСПД-М. Сайт научно-производственной компании ООО «ОКБ Бурстройпроект». URL: http://www.burstroy.ru/datchik/datchik_2.html). Датчики видимости и ДСПД в составе автоматических дорожных метеостанций (АДМС) в качестве измерительной подсистемы АСМО целесообразно устанавливать на репрезентативных, наиболее ответственных участках автомагистрали.

Алгоритм обеспечения безопасности дорожного движения в условиях интенсивного дождя выглядит следующим образом:

1. Типовыми датчиками видимости (см. рисунок, 2) из состава АДМС осуществляется видимость в дожде на наиболее ответственных участках автомагистрали. При снижении видимости ниже установленных пороговых значений (ниже 1000 м) центральная система АСМО информирует водителей ТС и органы управления дорожным движением.

2. Датчиком состояния дорожного полотна (см. рисунок, 5) в режиме реального времени из-

меряют толщину слоя воды на поверхности автомагистрали и рассчитывают коэффициент сцепления дороги. Центральное устройство АСМО (см. рисунок, 8) обеспечивает сбор, обработку, анализ и передачу информации о значительном снижении коэффициента сцепления дороги и/или угрозе возникновения эффекта глассирования.

Информирование водителей транспортных средств и органов управления дорожным движением об опасных погодных условиях осуществляется:

- выводом предупреждающего сообщения на динамическом информационном табло дорожной обстановки (см. рисунок, 6);
- активацией динамических дорожных предупреждающих знаков;
- доведением до водителей ТС предписывающих указаний о необходимости снижения скорости до безопасной активацией динамических запрещающих дорожных знаков;
- использованием современных и перспективных средств и систем информирования водителей ТС и/или приведением в действие интеллектуальных систем обеспечения безопасности движения автомобиля, в том числе на основе передачи данного рода оповещений непосредственно на борт ТС.

Расчет безопасной скорости движения АСМО осуществляет по известным алгоритмам исходя из текущих значений видимости пути и коэффициента сцепления. Информационное табло дорожной обстановки и динамические знаки устанавливаются на расстоянии от проблемного участка, обеспечивающем восприятие водителем информации об опасных погодных (дорожных) условиях и предписывающем снижение скорости до безопасной с учетом перевода временных единиц в расстояние.

Вторым перспективным направлением решения рассматриваемой проблемы обеспечения безопасности движения в условиях интенсивного дождя является разработка сверхкраткосрочных прогнозов (*now casting*) интенсивных ливневых осадков на основе данных оперативных наблюдений ДМРЛ за воздушным пространством.

Исходя из концепции обеспечения безопасности автомобильного транспорта на основе непосредственного информирования водителя ТС об

опасных погодных условиях на впереди лежащем участке пути минимальная заблаговременность прогнозов опасных явлений погоды составляет время, достаточное для снижения скорости ТС до безопасной. При реализации такого подхода к решению обозначенной в статье проблемы весьма перспективным представляется использование при составлении прогнозов *now casting* возможностей современных технологий ДМРЛ в режимах измерения интенсивности дождя и видимости в осадках.

К разработке прогнозов интенсивности, времени начала и прекращения ливневого дождя привлекаются ДМРЛ (см. рисунок, 4), радиус действия которых перекрывает обеспечиваемый участок автомагистрали.

Для повышения точности прогнозов целесообразно проведение калибровки данных ДМРЛ в режиме реального времени, а именно внесение поправочных коэффициентов в программу по сопряженным измерениям интенсивности осадков автоматическими осадкомерами (см. рисунок, 3), равномерно размещенных в зоне ответственности РЛС. Интеграция возможностей автоматической информационной системы мониторинга осадков и ДМРЛ по измерению интенсивности очагов ливневых дождей в зоне ответственности обладает значительным потенциалом повышения качества оперативных прогнозов и в целом специализированного метеорологического обеспечения автомобильного транспорта.

В качестве примера основной реализации такой интегрированной системы для Санкт-Петербурга могут стать функционирующие на территории мегаполиса ведомственная АИС «Осадки» и сеть ДМРЛ.

В качестве составной части объединенной системы целесообразно использовать развернутые и осуществляющие регулярный радиолокационный мониторинг воздушного пространства в границах мегаполиса Санкт-Петербурга ДМРЛ аэропорта «Пулково» (*METEOR 500 CDX*), МИП «Метеорадар» (*METEOR 50 DX*), СЗ УГМС (ДМРЛ-С).

Для повышения точности измерения интенсивности ливневого дождя посредством калибровки ДМРЛ в качестве составной части интегрированной системы мониторинга осадков целесообразно в зоне их действия развернуть

сеть автоматических осадкомеров. Например, в Санкт-Петербурге ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в тесном сотрудничестве с Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) создана первая в России автоматизированная информационная система учета атмосферных осадков высокой плотности — АИС «Осадки», включающая 34 осадкомера и 7 метеостанций. Пункты наблюдения, в состав каждого из которых входит автоматический осадкомер, регистратор данных, блок управления, метеостанция, равномерно расположены на территории Санкт-Петербурга и ближайших пригородов при среднем расстоянии друг от друга 8–12 км. Автоматический осадкомер обеспечивает непрерывное измерение количества атмосферных осадков с учетом их фазы и наблюдение за их интенсивностью. АИС «Осадки» круглосуточно с интервалом в пять минут в автоматическом режиме обеспечивает сбор метеорологической информации и ее передачу в систему Росгидромета и диспетчерские ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». На основе оперативной информации о количестве, интенсивности и местах выпадения атмосферных осадков по территории Санкт-Петербурга АИС «Осадки» обеспечивает штатную, безаварийную работу сетей и сооружений водоотведения поверхностных вод [22].

Алгоритм разработки сверхкраткосрочных прогнозов интенсивности ливневых осадков на основе радиолокационных наблюдений заключается в следующем. При синоптической обстановке, благоприятной для развития грозовой деятельности, ДМРЛ (см. рисунок, 4) осуществляет мониторинг конвективной (грозовой) облачности (см. рисунок, 9) в зоне ответственности. При обнаружении в районе обеспечиваемого участка автомагистрали ДМРЛ очагов ливневого дождя (см. рисунок, 10) согласно данным измерений автоматических осадкомеров (см. рисунок, 3) и на основе специализированного алгоритма режима реального времени верифицируются результаты радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков. При калибровке измерений интенсивности осадков ДМРЛ в первую очередь используются данные текущих измерений автоматических осадкомеров, расположенных в непосредственной близости к обеспечиваемым

участкам автомагистрали. В центральном устройстве АИС (см. рисунок, 8) рассчитывается время подхода к обеспечиваемому участку автомагистрали и продолжительность осадков. При превышении установленных порогов интенсивности ливневого дождя центральный блок АИС осуществляет информирование участников движения об угрозе возникновения опасных дорожных условий на определенном участке автомагистрали. Методика доведения прогностической информации об опасных условиях движения в рамках функционирования АСМО аналогична вышеописанным.

Таким образом, на основе интеграции современных систем сбора, передачи и анализа метеорологических данных возможна реализация современного комплексного подхода к метеорологическому обеспечению автомобильного транспорта, предполагающего предоставление водителям ТС в режиме реального времени актуальной с точки зрения безопасности дорожного движения оперативной информации о метеорологических и дорожных условиях движения на впереди лежащем участке пути, включая данные текущих измерений сети дорожных метеорологических станций, общего и сверхкраткосрочного специализированных прогнозов условий погоды по району автомагистрали.

Библиографический список

1. Базлова Т. А., Бочарников Н. В., Солонин А. С. Автоматизированная система метеорологического обеспечения службы содержания автомобильных дорог // Дороги России XXI века. 2002. № 1. С. 93–95.
2. Базлова Т. А. Бочарников Н. В., Брылев Г. Б. Радиолокационные метеорологические наблюдения. Вопросы практического применения радиолокационной метеорологической информации. СПб.: Наука, 2010. Т. 2. 518 с.
3. Магарас Ю. И., Клясова А. А. Жобринский А. В. Прогнозирование погодных и дорожных условий как элемент интеллектуальной транспортной системы // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы: 4-я Междунар. науч.-практ. конф. Казань: Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2016. С. 342–350.
4. Самодурова Т. В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог. М.: ТИМР, 2003. 183 с.

5. Леонович И. И., Нестерович И. В. Автоматизированная система управления зимним содержанием автомобильных дорог // Вестник БНТУ. 2008. № 5. С. 51–58.

6. Самодурова Т. В. Оперативное управление зимним содержанием дорог: Научные основы. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 168 с.

7. Молев Ю. И. Обеспечение дорожной безопасности автомобильного транспорта в зимний период: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Нижний Новгород: НГТУ, 2007. 32 с.

8. Козлов В. Г., Скрыпников А. В., Никитин В. В. и др. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения. Воронеж: ВГАУ. 2019. 336 с.

9. Васильев А. П. Состояние автомобильных дорог и безопасность движения в сложных погодных условиях. М.: Транспорт, 1976. 224 с.

10. Справочная энциклопедия дорожника. Ремонт и содержание дорог / под ред. А. П. Васильева. М.: ФГУП «Информавтодор», 2004. Т. 2. 1129 с.

11. Ротенберг Р. В. Основы надежности системы водитель–автомобиль–дорога–среда. М.: Машиностроение, 1986. 216 с.

12. Ковалев В. А., Фадеев А. И., Воеводин Е. С. и др. Определение скорости возможного аквапланирования // Вестник ИргТУ, 2014. № 5 (88). С. 115–119.

13. Кубланов М. С. Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке. М.: РИО МГТУ ГА, 2013. 270 с.

14. Часовников В. Г. Исследование глассирования колес самолетов на скользких аэродромных покрытиях: дис. ... канд. техн. наук. Л.: ОЛАГА, 1972.

15. Бехтина Н. Б., Сметанина Н. А. Математическое моделирование тяжелых транспортных самолетов на посадке // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. Т. 19, № 04. С. 125–130.

16. Мучник В. М. Физика грозы. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 350 с.

17. Мешиков А. В. Сверхкраткосрочный прогноз интенсивности ливневых осадков в северо-западном районе Европейской территории России и Белоруссии: дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж: ВВВАИИ, 2001. 134 с.

18. Алексеева А. А. Условия формирования и краткосрочный прогноз сильных ливней на ЕТ СНГ: дис. ... канд. геогр. наук. М.: Гидрометцентр РФ, 1993. 187 с.

19. Орлова Е. М. Краткосрочный прогноз атмосферных осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 168 с.

20. Русин И. Н., Тараканов Г. Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 282 с.

21. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 704 с.

22. Михайлов Д. М., Синькевич Т. А., Пашковский Д. О. Создание автоматизированной информационной системы учета атмосферных осадков // Вода Magazine, 2016. № 3 (103).

References

1. Bazlova T. A., Bocharnikov N. V., Solonin A. C. *Avtomatizirovannaya sistema meteorologicheskogo obespecheniya sluzhby soderzhaniya avtomobil'nykh dorog* [Automated system of meteorological support of road maintenance service]. *Dorogi Rossii XXI veka – Roads of Russia of the XXI century*, 2002, no. 1, pp. 93–95.

2. Bazlova T. A. Bocharnikov N. B., Brylev G. B. *Radiolokatsionnye meteorologicheskie nablyudeniya. Voprosy prakticheskogo primeneniya radiolokatsionnoy meteorologicheskoy informatsii* [Radar meteorological observations. Practical application of radar meteorological information]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2010, vol. 2, 518 p.

3. Magaras Yu. I., Klyasova A. A., Zhobrinskiy A. V. *Prognozirovanie pogodnykh i dorozhnykh usloviy kak ehlement intellektual'noy transportnoy sistemy* [Forecasting of weather and road conditions as an element of intelligent transport systems]. *Trudy 4-oy Mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. «Sovremennyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: intellektual'nye transportnye sistemy»* [Proc. of the 4-th Int. sci. –pract. conf. “Modern problems of life safety: intelligent transport systems”]. Kazan', Nauchnyy tsentr bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti Publ., 2016, pp. 342–350.

4. Samodurova T. V. *Meteorologicheskoe obespechenie zimnego soderzhaniya avtomobil'nykh dorog* [Meteorological service of winter roads]. Moscow, TIMR Publ., 2003, 183 p.

5. Leonovich I. I., Nesterovich I. V. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya zimnim soderzhaniem avtomobil'nykh dorog* [Automated control system for winter maintenance of roads]. *Vestnik BNTU – Bulletin BNTU*, 2008, no. 5, pp. 51–58.

6. Samodurova T. V. *Operativnoe upravlenie zimnim soderzhaniem dorog: Nauchnye osnovy* [Operational management of the winter maintenance of roads. Scientific basis]. Voronezh, VGU Publ., 2003, 168 p.

7. Molev Yu. I. *Obespechenie dorozhnoy bezopasnosti avtomobil'nogo transporta v zimniy period. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Ensuring road safety of road transport in winter. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. Nizhniy Novgorod, NGTU Publ., 2007, 32 p.

8. Kozlov V. G., et al. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya*

[Methods, models and algorithms of logging road design taking into account the climate and weather influence on traffic conditions]. Voronezh, VGPU Publ., 2019, 336 p.

9. Vasil'ev A. P. *Sostoyaniye avtomobil'nykh dorog i bezopasnost' dvizheniya v slozhnykh pogodnykh usloviyakh* [Condition of roads and traffic safety in difficult weather conditions]. Moscow, Transport Publ., 1976, 224 p.

10. *Spravochnaya ehntsiklopediya dorozhnika. T. 2. Remont i sodержanie dorog* [Reference encyclopedia of road builders. Vol. 2. Repair and maintenance of roads]. Ed. by Vasil'ev A. P. Moscow, Informavtodor Publ., 2004, 1129 p.

11. Rotenberg R. V. *Osnovy nadezhnosti sistemy voditel'–avtomobil'–doroga–sreda* [Fundamentals of reliability of the driver–car–road–environment system]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1986, 216 p.

12. Kovalev V. A., et al. *Opreделение skorosti vozmozhnogo akvaplanirovaniya* [Determination of the speed of possible aquaplaning]. *Vestnik IrGTU – Bulletin of ISTU*, 2014, no. 5 (88), pp. 115–119.

13. Kublanov M. S. *Matematicheskoe modelirovaniye zadach letnoy ehkspluatatsii vozdukhnykh sudov na vzlete i posadke* [Mathematical modeling of problems of flight operation of aircraft on takeoff and landing]. Moscow, RIO MGTU GA Publ., 2013, 270 p.

14. Chasovnikov V. G. *Issledovaniye glissirovaniya koles samoletov na skol'zskikh aehrodromnykh pokrytiyakh. Diss. kand. tekhn. nauk* [Study of the gliding of the aircraft wheels on slippery airfield runway. PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, OLAGA Publ., 1972.

15. Bekhtina N. B., Smetanina N. A. *Matematicheskoe modelirovaniye tyazhelykh transportnykh samoletov na posadke* [Mathematical modeling of heavy transport

aircraft at landing]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA – Scientific Bulletin of MGTU GA*, 2016, vol. 19, no. 04, pp. 125–130.

16. Muchnik V. M. *Fizika grozy* [Physics of thunderstorms]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 350 p.

17. Meshkov A. V. *Sverkhkratkosrochnyy prognoz intensivnosti livneykh osadkov v severo-zapadnom rayone Evropeyskoy territorii Rossii i Belorussii. Diss. kand. geogr. nauk* [Over-short-term forecast of storm precipitation intensity in the North-Western region of the European territory of Russia and Belarus. PhD in Sci. Geogr. diss.]. Voronezh, VVVAII Publ., 2001, 134 p.

18. Alekseeva A. A. *Usloviya formirovaniya i kratkosrochnyy prognoz sil'nykh livney na ET SNG. Diss. kand. geogr. nauk* [Conditions of formation and short-term forecast of heavy rains on ET SNG. PhD in Sci. Geogr. diss.]. Moscow, Gidromettsentr RF Publ., 1993, 187 p.

19. Orlova E. M. *Kratkosrochnyy prognoz atmosferykh osadkov* [Short-term forecast of precipitation]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979, 168 p.

20. Rusin I. N., Tarakanov G. G. *Sverkhkratkosrochnyye prognozy pogody* [Super-short-term weather forecasts]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1996, 282 p.

21. *Rukovodstvo po kratkosrochnym prognozam pogody. Chast' 1* [Guide to short-term weather forecasts. Part 1]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 704 p.

22. Mikhaylov D. M., Sin'kevich T. A., Pashkovskiy D. O. *Sozdaniye avtomatizirovannoy informatsionnoy sistemy ucheta atmosferykh osadkov* [Creation of the automated information system of the atmospheric precipitation account]. *Voda Magazine – Water Magazine*, 2016, no. 3 (103).