DOI: 10.12737/article_5b240611858af4.37544962
УДК 630*383-025,13(043)

КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ, ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТА И ПОГОДЫ

кандидат технических наук, доцент **В.Г. Козлов**[1]
доктор технических наук, профессор **А.В. Скрыпников**[2]
экстерн **Р.В. Могутнов**[2]
экстерн **Е.Ю. Микова**[2]
студент**Ю.А. Зеликова**[2]

[1]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Воронеж, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Российская Федерация

Для определения и прогнозирования вероятности появления неблагоприятных метеорологических явлений и их сочетаний по распределению вероятности каждого явления были проведены комплексные экспериментальные исследованияявлияния погодно-климатических условий различных регионов лесозаготовок на состояние дорог, условия и режим движения транспортных потоков. Комплексные экспериментальные исследования заключались в выявлении характера и пределов изменения переменных параметров в различные периоды года и в различных погодных условиях в зависимости от технического уровня дорог и их инженерного оборудования, а также изучении характеристик транспортного потока в различные времена года, влиянии состояния дорог и условий погоды на режимы и безопасность движения транспортных потоков, изучении совместного влияния дорожных и метеорологических условий, а также параметров транспортного потока на выходные характеристики системы «дорожные условия – транспортный поток» – скорость, безопасность движения и пропускную способность. На основании проведённых комплексных экспериментальных исследований, определена вероятность появления каждого метеорологического фактора в отдельности и выполнены расчеты математического ожидания метеорологического явления в отдельности и в сочетании с другими метеоявлениями, определено математическое ожидание вероятности появления двух и более неблагоприятных метеорологических явлений, действующих одновременно.Предложенная методика может быть использована для определения и прогнозирования вероятности появления неблагоприятных метеорологических явлений и их сочетаний по распределению вероятности каждого явления, действующих одновременно и в сочетании с другими метеоявлениями от общего количества с высокой математической точностью.

Ключевые слова: транспорный поток, метеорологические явления, исследования, дорожные условия, прогнозирование.

COMPREHENSIVE EXPERIMENTAL RESEARCH OF CHANGING PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF ROAD CONDITIONS, TRANSPORT FLOWS AND MOTION MODES UNDER INFLUENCE OF CLIMATE AND WEATHER

PhD (Engineering), Associate Professor **V.G. Kozlov**[1]
DSc (Engineering), Professor **A.V. Skrypnikov**[2]
External student **R.V. Mogutnov**[2]
External student **E.Yu. Mikova** [2]
Student **Yu.A. Zelikova** [2]

[1] FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation,
[2]FSBEI HE « Voronezh State University of Engineering Technologies», Voronezh, Russian Federation

Complex experimental studies of the effects of the weather and climate conditions of different logging regions on the state of roads, conditions and traffic conditions have been made to determine and predict the probability of occurrence of adverse meteorological phenomena and their combinations in the probability distribution of each phenomenon. Complex experimental studies consisted in revealing the nature and limits of changes in variable parameters at different periods of the year and in different weather conditions, depending on technical level of roads and their engineering equipment, as well as studying characteristics of traffic flow at different times of the year, impact of road conditions and weather conditions on regimes and traffic flow safety, studying the joint influence of road and meteorological conditions, as well as traffic flow parameters on output characteristics of the system "road conditions - traffic flow" - speed, traffic safety and traffic capacity. Based on the complex experimental studies carried out, the probability of occurrence has been determined separately for each meteorological factor and calculations of mathematical expectation of meteorological phenomenon separately and in combination with other meteorological phenomena have been performed, and mathematical expectation of the probability of occurrence of two or more unfavorable meteorological phenomena acting simultaneously has been determined. This method can be used to determine and predict probability of appearance of disrepute meteorological phenomena and their combinations in the probability distribution of each phenomenon, acting simultaneously and in combination with other meteorological phenomena from the total number with high mathematical accuracy.

Keywords: transport flow, meteorological phenomena, research, road conditions, forecasting.

Комплексные экспериментальные исследования проводились с целью проверки принятых теоретических гипотез и положений о влиянии погодно-климатических условий различных регионов лесозаготовок на состояние дорог, условия и режим движения транспортных потоков.

Конкретными задачами экспериментальных исследований являлись:

- проверка гипотезы о наличии постоянных и переменных параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, выявление характера и пределов изменения переменных параметров в различные периоды года и в различных погодных условиях в зависимости от технического уровня дорог и их инженерного оборудования;
- изучение характеристик транспортного потока в различные времена года (интенсивность и состав);
- изучение влияния состояния дорог и условий погоды на режимы и безопасность движения транспортных потоков;
- изучение совместного влияния дорожных и метеорологических условий, а также параметров транспортного потока на выходные характеристики системы ДУ-ТП – скорость, безопасность движения и пропускную способность.

Исходя из целей и задач, была определена общая методология, разработаны частные методики экспериментальных исследований, которые базируются на анализе модели взаимодействий систем комплекса ВАДС и систему ДУ-ТП (рисунок 1).

Сложность экспериментальных исследований заключалась в том, что условия движения и состояния дороги оцениваются целым комплексом постоянных и переменных параметров и характеристик.

Геометрические параметры и другие постоянные характеристики определились путем изучения технической документации и разового обследования дорог в соответствии с действующими методиками [1, 3, 4].

Наиболее трудоемким, являлось изучение переменных параметров и характеристик дорог, воздействий метеорологических явлений на условия движения, а также режимов движения транспортных потоков. Для исследования этих вопросов были проведены систематические обследования дорог и созданы постоянно действующие посты наблюдения.

Комплексные обследования и наблюдения были выполнены на дорогах I, II, III, IV категорий во II, III и IV дорожно-климатических зонах, общим протяжением около 2 тыс. км. Кроме того, экспериментальные исследования по отдельным вопросам выполнялись на лесовозных автомобильных дорогах Республики Коми.

Рис. 1. Блок-схема комплексных экспериментальных исследований

Для длительных наблюдений на каждой лесовозной дороге были выбраны характерные участки. В первую очередь выбирался участок, параметры и характеристики которого отвечали эталонным требованиям. При отсутствии таковых выбирались базовые участки с характеристиками, наиболее близкими к эталонным. Затем намечались другие характерные участки для систематических наблюдений. При наблюдениях за эталонные принимались условия движения в летнее время в сухую, ясную, безветренную погоду при температуре воздуха от 10 до 25ºС.

Первая часть экспериментальных обследований и полевых наблюдений за изменениями состояния дорог, параметров транспортного потока и режимов движения была выполнена автором в 2014 – 2016 гг. на лесовозных автомобильных дорогах Республики Коми и включала в себе оценку погодных и климатических характеристик, систематические обследования изменений параметров, транспортно-эксплуатационных характеристик дорог и их состояния, изменения интенсивности и состава транспортного потока, скоростей и траектории движения автомобилей в различные сезоны года и в различных метеорологических условиях на дорогах II-IV категорий. В процессе наблюдений были выявлены трудности, связанные с влиянием метеорологических условий на сам процесс полевых экспериментальных работ.

Организация обследований и наблюдений в зимний и осенне-весенние периоды года значительно сложнее и требует тщательного выбора мест наблюдения, оборудования пунктов наблюдения, обоснованной продолжительности наблюдения каждым наблюдателем и экипировки наблюдателя, выбора приборов и приспособлений для наблюдений.

Накопленный в 2014 – 2015 гг. опыт полевых исследований и наблюдений в неблагоприятных метеорологических условиях позволил уточнить общую методику исследований и разбить ее на три этапа: последовательный, проведение обследований и полевых наблюдений, обработка материалов обследований и наблюдений.

Первый этап включает постановку задачи экспериментальных исследований, выбор объекта наблюдений, изучение технической документации по объекту, разработку методики обследований и наблюдений, подбор аппаратуры, разработку и размножение форм журналов и учета документации, сбор и изучение данных о климатических и метеорологических условиях автомобильной лесовозной дороги.

Второй этап начинается с рекогносцировочного осмотра дороги и уточнения геометрических параметров и технических характеристик. Затем выбираются характерные участки для детальных обследований и наблюдений, местоположение пунктов наблюдений (временных и постоянных), наносятся створные линии, проводится инструктаж наблюдений, делаются пробные замеры, уточняются методики, проводятся полевые наблюдения и их предварительная обработка.

На третьем этапе ведется камеральная обработка материалов исследования и наблюдений. В первый период эта работа выполнялась вручную, а затем с применением современных средств вычислительной техники, для чего были составлены специальные электронные формы журналов наблюдений и программы статистической обработки результатов.

По отработанной методике в 2015-2016 гг. были проведены обследования и наблюдения на дорогах I-IV категории в различных дорожно-климатических зонах. Методика включала полевые измерения и наблюдения на характерных участках дорог

Ширина проезжей части и обочин. Измерения ширины проезжей части и обочин проводились на всех характерных участках дороги. В осенне-весенний периоды измерялась ширина чистой проезжей части, ширина полос загрязненная и ширина обочин. Зимой измерялась ширина чистой проезжей части, ширина полос наката, общая ширина полосы движения (фактическая ширина проезжей части), ширина обочины, наличие и ширина краевой укрепительной полосы и укрепительной обочины. Все измерения проводились в одних и тех же створах в течение всех периодов наблюдений. Все-

го выполнено около 8 тыс. измерений ширины проезжей части и обочин на 2.2 тыс. створов.

Состояние проезжей части и обочин оценивалось визуально по видам «сухое», «мокрое чистое», «мокрое загрязненное», «заснеженное», «снежный накат», «обледенелое» и записывалось в электронный журнал в каждом створе изменений.

Коэффициент сцепления колеса с покрытием определялся на конкретных участках дорог протяжением 10-20 км при различных состояниях покрытия и различные периоды года на скорости 60 км/ч. Всего получено 15 тыс. измерений коэффициента сцепления.

Ровность покрытия определялась на тех же конкретных участках дорог протяжением 10-20 км непрерывно.

Наблюдения за транспортным потоком включали определение интенсивности и состава движения на всех характерных участках дорог. Наблюдения велись выборочные, так и круглогодичные по два раза в месяц на всех обследованных дорогах. Для выявления расположения движения по дням недели в каждый сезон в течение недели выполнялись ежедневно сплошные наблюдения, а для исследования характера распределения интенсивности движения по длине дороги и определения степени загрузки отдельных перегонов проводились суточные замеры интенсивности движения по всему участку (на учетных пунктах) в рабочие и выходные дни.

Наблюдения за режимами движения проводились систематически во все периоды года на всех характерных участках. Кроме того наблюдения выполнялись во время выпадения дождя, снега, действия тумана, ветра, гололеда. Круглогодичные наблюдения выполнены на 480 сечениях различных дорог. Общий массив наблюдений за скоростями превышает
220 тыс. измерений.

Траектории движения изучались путем измерения зазоров безопасности от кромки проезжей части до заднего колеса автомобиля. Наблюдения выполнены на 126 сечениях, получено около 25 тыс. измерений.

Определение интервалов между автомобилями выполнялось наблюдателями с помощью секундомеров. Всего получено около 12 тыс. измерений интервалов движения.

Начиная с 2015 г. запись всех замеренных параметров режимов движения ведется в электронном журнале по специальной форме отдельно для каждого направления. В электронном журнале имеются графы, которые заполняет оператор перед вводом в компьютер. Обработка материалов ведется по специальной программе, позволяющей получить характеристики транспортного потока, обработанные методами математической статистики. Статистические характеристики определяются как для всего потока в целом, так и для каждой скоростной группы в отдельности. Компьютерная программа позволяет получить следующие характеристики транспортного потока: суточная интенсивность движения, состав потока в процентах по скоростным группам, минимальная и максимальная скорости движения, средняя скорость движения, мода и модальное значение скоростей, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, эксцесс, асимметрия, значения скоростей 95, 85, 50 и 15% обеспеченности, распределение скоростей по интервалам через 5 км/час.

Аппаратура и приборы для исследования. Для выполнения экспериментальных исследований использовались передвижные дорожные лаборатории КП-514МП на базе автобуса автомобиля ГАЗ-3221 «Газель». Применяемая в исследованиях измерительная аппаратура описана во многих изданиях, в том числе и в ряде работ [2, 6, 8, 10, 11].

Теоретическим анализом установлено, что наибольшее влияние на условия и режим движения метеорологические факторы оказывают через состояние поверхности дороги, которое складывается из состояния покрытия проезжей части и обочин.

Можно выделить две группы показателей качества поверхности дороги, необходимые для движения лесовозных автопоездов:

А) показатели, характеризующие взаимодействие автомобиля с дорогой – прочность дорожной одежды, ровность, коэффициент сцепления, коэффициент сопротивления качению;

Б) показатели, характеризующие восприятие дороги водителем – геометрические параметры, четкость очертания элементов поверхности (проез-

жая часть, краевые полосы, обочины), различие их внешнего вида.

Влияние метеорологических факторов на состояние дорог оценивается качественными характеристиками: сухое, влажное, мокрое (чистое и загрязненное), заснеженное (покрытое рыхлым снегом или уплотненным слоем снега – снежный накат), гололед, шероховатое, скользкое, ровное и неровное, с колеями, ямочность и выбоинами.

Сухим можно считать покрытие, микроповерхность материала которого не имеет сплошной пленки воды. Такие состояния наблюдаются при относительной влажности воздуха до 90%.

Влажным, следует считать покрытие, микроповерхность материала которого покрыта сплошной пленкой связанной воды. Такое состояние покрытия наблюдается при относительной влажности воздуха 90-100% и положительной температуре покрытия. При отрицательной температуре в этих условиях образуется микрогололед.

Мокрым следует считать покрытие, на микроповерхности материала которого имеется слой свободной воды. Заснеженным следует считать покрытие с наличием рыхлого снега на поверхности. Снежный накат – наличие слоя снега, уплотненного движением автомобилей.

В зависимости от технического уровня дорог, уровня содержания, вида и интенсивности метеорологических явлений, характерных для каждого периода года различные состояния могут распространиться на полную ширину проезжей части и обочин, охватывать большие протяжения дорог, или захватывать только небольшую часть покрытия, образуя отдельные пятна.

Наблюдения показывают, что в летний период наиболее часто наблюдается сухое чистое покрытие, сухие обочины и в целом благоприятные условия движения. В переходные периоды года наиболее часто наблюдается влажное и мокрое покрытие и грязные, разрушенные обочины.

Отличительной особенностью переходных периодов является возрастание длительности последствия осадков, что объясняется повышенной влажностью и пониженной температурой воздуха и испаряемостью в эти периоды. На длительность последствия влияет рельеф местности, тип грунтов, продуваемость участка дороги и др. [3, 5, 11]. Для определения длительности последствия осадков были проведены наблюдения за временем просыхания покрытия и обочин из различных грунтов на дороге Ираёль – Ижма, где был организован постоянный пост. Установлено, что в осенне-весенний период время просыхания покрытия и обочин во много раз больше времени выпадения дождя или мокрого снега особенно при температуре воздуха от 0°С до плюс 7°С (табл. 1). В этот период дожди даже небольшой интенсивности имеет последствие в 3-5 раз больше, чем ливневые дожди летом (табл.1). Если учесть, что одновременно увеличивается длительность выпадения самих осадков, будет понятно, почему при сравнительно небольшой разнице в объеме выпадающих дождей в летний и осенне-весенний периоды состояние дорог в указанные сезоны значительно отличаются.

Таблица 1

Продолжительность просыхания дорог

Тип покрытия и обочин	Продолжительность высыхания после прекращения дождя, час		
	Летом	Весной и осенью при среднесуточной температуре воздуха	
		+1… +7 ^{0}С	+8 … +15 ^{0}С
Чистое асфальтобетонное и цементобетонное покрытие	1 – 2	3 – 10	2 – 6
То же покрытие, загрязненное	1,5 – 2,5	4 – 12	3 – 6
Сильно загрязненные прикромочные полосы	2 – 3	5 – 15	4 – 10
Обочины из песчаных и супесчаных грунтов	3 – 4	6 – 10	6 – 8
Обочины из глинистых и суглинистых грунтов	6 – 10	15 – 30	10 – 20

В переходные периоды года, длительность осадков и их последствие настолько возрастает, что дорога находится во влажном состоянии большую часть сезона. Особенно заметно возрастает продолжительность просыхания неукрепленных обочин. Наблюдения показывают, что практически в течение 40-60% времени и более в осенне-весенний период неукрепленные обочины, независимо от ширины, не выполняют своего назначения.

Существенно отличается от эталонного состояние дорог в зимний период, причем главным фактором формирования состояния поверхности дороги является снежные осадки и метели. В зависимости от температуры воздуха, интенсивности снегопада, скорости ветра и конструкции земляного полотна выпадающий снег сдувается или остается на проезжей части, попадая под колеса движущихся автомобилей. В случаях, когда удаление снега с покрытия производится несвоевременно, из покрытия образуется слой рыхлого или накатанного снега, который под действием движения может переходить в лед.

При температурах воздуха, близких к нулю, выпадающий снег ложится на покрытие и под колесами автомобилей тает. Мокрая проезжая часть может наблюдаться на дороге при температуре воздуха до минус 7°С, а в случаях применения противогололедных солей или растворов и при более низкой температуре.

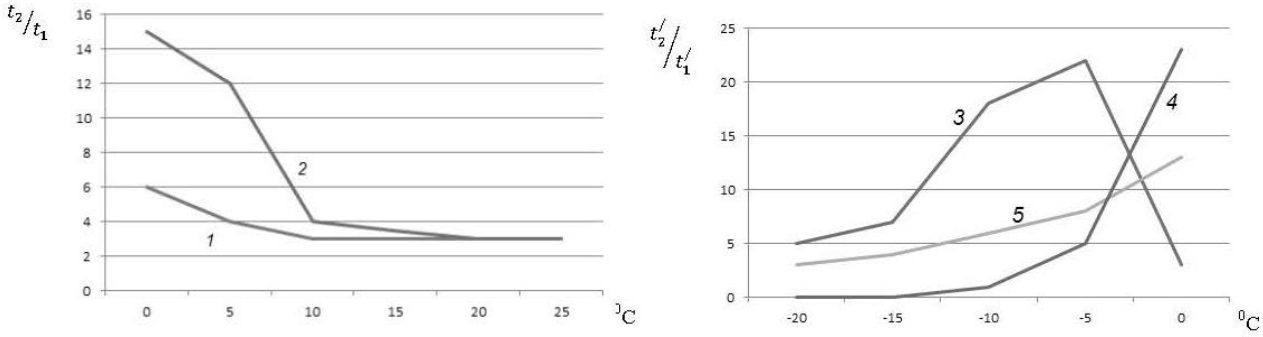
Большую опасность для движения создает снежный накат, лежащий в виде отдельных пятен на поверхности дороги. Это его наиболее распространенный вид. Как правило, полосы движения проезжей части, обращенные к югу и западу, очищаются от снежного наката быстрее, чем полосы, обращенные к северу и востоку. В результате на дорогах, расположенных в широтном направлении, одна полоса движения всегда более чистая, чем другая. Такое положение приводит к перераспределению транспортного потока по ширине проезжей части, особенно при невысокой интенсивности движения [3, 8]. Кроме того, неравномерность распределения пятен наката приводит и к неравномерному распределению сцепных качеств покрытия как вдоль, так и по ширине дороги.

Самые трудные условия движения на лесовозных автомобильных дорогах создаются в периоды образования гололеда, который можно разделить на естественный и искусственный [7] искусственный гололед особенно часто образуется при движении автомобилей по снежному накатанному слою в местах интенсивного торможения автомобилей.

На рисунке 2 приведены результаты наблюдений за последствием осадков на дороге Ираёль – Ижма, из которых видно, что особенно долго сохраняется искусственный гололед и снежный накат, образуется от уплотнения снега при температуре воздуха от -4°С до -14°С. По приведенным в таблице 2 данным сухое чистое покрытие проезжей части наблюдается в течение 60,9 от длительности года. В отдельное время года покрытие мокрое, грязное, покрыто снегом или льдом, коэффициент сцепления от 0,10 до 0,20.

Аналогичные наблюдения были проведены на дорогах общегосударственного значения в центральной части России. На этих дорогах оснащенность снегоуборочными и снегоочистительными машинами и уровень содержания значительно выше, чем на дороге Ираёль – Ижма, поэтому на 10-15%, длительность гололеда и снежного наката и их покрытий наблюдается значительно меньше, чем на дороге Ираёль – Ижма (табл. 3).

В таблице 4 приведены результаты наблюдений за длительность различных состояний обочин из супесчаного и суглинистого пункта на дороге Ираёль – Ижма. Они показывают, что длительность неудовлетворительного состояния неукрепленных обочин значительно больше, чем поверхности покрытия. Анализ выполненных наблюдений позволяет установить усредненные значения длительности действия и последействия различных факторов в зимний период времени (табл. 5).



а) дождя летом и в переходные периоды б) снегопада зимой

Рис. 2. Зависимость последствия осадков от температуры воздуха (1 – мокрое покрытие летом, 2 – мокрое покрытие осенью и весной, 3 – снежный накат, 4 – гололед, 5 – мокрое покрытие зимой). Условные обозначения: t_1, t_1' - соответственно длительность дождя и снегопада; t_2, t_2' - соответственно длительность характерного состояния покрытия

Таблица 2

Продолжительность состояний покрытия по сезонам года

Сезон года	Показатели	Состояние покрытия				В среднем за сезон
		Сухое, чистое	Мокрое, грязное	Снег, снежный накат	Искусственный гололед, пятна льда	
Зима	Продолжительность, сутки	53,2	11,0	18,3	61,5	144
	Продолжительность, % от года	14,6	3,1	5,0	16,7	29,4
	Коэффициент сцепления	0,40	0,32	0,20	0,13	0,25
Весна	Продолжительность, сутки	36,1	11,9	-	-	48
	Продолжительность, % от года	9,9	13,3	-	-	13,2
	Коэффициент сцепления	0,46	0,37	-	-	0,42
Лето	Продолжительность, сутки	90,1	21,9	-	-	112
	Продолжительность, % от года	24,7	6,0	-	-	30,7
	Коэффициент сцепления	0,51	0,38	-	-	0,48
Осень	Продолжительность, сутки	42,6	15,8	2,3	0,3	61
	Продолжительность, % от года	11,7	4,3	0,6	0,1	18,7
	Коэффициент сцепления	0,45	0,37	0,20	0,12	0,42
В среднем за год	Продолжительность, сутки	222	60,6	20,6	61,8	365
	Продолжительность, % от года	60,9	16,7	5,6	16,8	100
	Коэффициент сцепления	0,46	0,36	0,20	0,13	0,37

Таблица 3

Состояния покрытий зимой

Дороги	Длительность зимы, дни	Состояние покрытия зимой, %			
		Сухое, чистое	Мокрое, грязное	Снег, снежный накат	Искусственный гололед, пятна льда
Дороги общегосударственного значения в пределах Московской области	154	66,3	17,0	9,2	7,5
Воронеж – Саратов	144	37	7,7	12,7	42,6

Таблица 4

Продолжительность состояний неукрепленных обочин

Время года		Продолжительность различных состояний неукрепленных обочин из суглинистых, супесчаных, песчаных грунтов			
		Сухие, чистые	Мокрые, грязные	Лед, мокрый снег, снег	Средняя продолжительность периода
Зима	сутки	39,8	11,5	92,7	144
	%	10,9	3,1	25,3	39,3
Весна	сутки	29,9	15,0	3,1	48
	%	8,2	4,1	0,9	13,2
Лето	сутки	84,8	27,2	-	112
	%	23,2	7,5	-	30,7
Осень	сутки	31,7	22,9	6,4	61
	%	8,7	6,3	1,8	16,8
Итого за год	сутки	186,2	76,6	102,2	365
	%	51	21	28	100

Таблица 5

Длительность последействия метеорологических факторов

Метеорологический фактор	Длительность действия, час	Длительность последействия (снежный накат, снег и лед), час					
		Дороги I-II технической категории			Дороги III-IV технической категории		
		на покрытии	на укрепленных обочинах	на неукрепленных обочинах	на покрытии	на укрепленных обочинах	на неукрепленных обочинах
Снегопад	4 – 12	6-10	6-10	всю зиму	10-200	10-200	всю зиму
Метель	6 – 9	6-24	6-24	всю зиму	40-250	40-250	всю зиму
Гололед	3 – 6	1-4	2-24	не удаляется	4-24	24 и более	не удаляется

Большой разброс длительности последствия объясняется разнообразием условий снегозависимости на дорогах и уровнем содержания дорог.

Для отсутствия патрульной снегоочистки, частой повторяемости снегопадов и метелей последствия накладываются друг на друга, и дорога находится в заснеженном состоянии длительное время.

Опыт показывает, что полную очистку снега без ущерба для состояния покрытия применяющимися в настоящее время средствами механизации можно обеспечить только на цементобетонных и асфальтобетонных покрытиях. Со щебеночных, гравийных и грунтовых покрытий полностью удалить снег без ущерба для покрытия нельзя: при плужных снегоочистителей, автогрейдеров и бульдозера в период одной зимы с покрытия удаляется 15-25 % гравийного материала. Это приводит к преждевременному разрушению покрытий.

В северных и восточных районах страны, где снега выпадает весьма много, требование полной очистки дорог обеспечить трудно. С другой стороны, если на лесовозных: грунтовых, гравийных и щебеночных дорогах правильно устраивать снежное покрытие, т.е. уплотнять небольшой, ровный слой снега, можно получать ровную поверхность, обеспечивающую возможность движения.

Исследования Кунгурцева А.А. показали, что в ряде случаев при определенных климатических условиях и интенсивности движения автомобилей целесообразнее сохранить снег на покрытии, добиваясь хорошего уплотнения, чем очищать дорогу в зимнее время.

Для проверки разработанного метода определения вероятности неблагоприятных для движения условий погоды и состояния лесовозных автомобильных дорог проведены экспериментальные наблюдения за метеорологическими явлениями и состоянием дороги в течение 2014-2016 гг. на постоянно действующем посту, расположенном на 13 км дороги Ираёль – Ижма II технической категории в п.г.т. Ираёль. Дорога в районе поста проходит по насыпи высотой от 1,5 до 3,5 м Наблюдения за метеорологическими явлениями проводились по стандартной методике [9].

В электронный журнал наблюдений также заносилась оценка состояния проезжей части и обочин дороги. Для детальной обработки данных наблюдений взят двухлетний период. С 1 апреля 2014 г. по 31 марта 2016 г. отмечено 639 случаев, когда интенсивность метеорологических явлений превышала пределы опасных и очень опасных значений. Из общего количества наблюдалось 212 случаев (33,3%) действия одного неблагоприятного фактора, в остальных случаях наблюдалось одновременно два и три метеорологических фактора. По данным наблюдениям определена вероятность появления каждого фактора в отдельности и выполнены расчеты математического ожидания каждого метеорологического явления в отдельности и в сочетании с другими метеоявлениями.

Для этого вначале определено математическое ожидание вероятности появления двух и более неблагоприятных метеорологических явлений, действующих одновременно.

$$Z \in P_i(x_i) = (P_1P_2 + \cdots + P_1P_n) + (P_1P_2P_3 + \cdots + P_1P_2P_n) + (P_1P_2P_3P_4 + \cdots + P_1P_2P_3P_n) \quad (1)$$

где $P_i(x_i)$ – общая вероятность появления каждого метеорологического явления.

Исключаются явно невозможные сочетания, такие, как туман и сильный ветер, снег и высокая температура воздуха и др. Вычисляется сумма произведений парных и тройных сочетаний, а также сочетаний четырех метеорологических явлений. Вероятность сочетания большего числа неблагоприятных факторов очень мала и ею можно пренебречь.

Затем определяется вероятность появления каждого неблагоприятного явления, действующего отдельно:

$$P_i'(x_i) = P_i(x_i) - \sum_i^n \Pi P_i(x_i). \quad (2)$$

Математическое ожидание количества случаев появления каждого неблагоприятного метеорологического явления за время наблюдений составляет:

для одиночных явлений

$$n_1 = 730 \times P_i'(x_i) \quad (3)$$

для сочетаний двух явлений

$$n_2 = 730 \times \sum_1^2 \Pi_2 P_i'(x_i) \quad (4)$$

для сочетаний трех явлений

$$n_3 = 730 \times \sum_1^3 \Pi_3 P_i'(x_i) \quad (5)$$

для сочетаний четырех явлений

$$n_4 = 730 \times \sum_1^4 \Pi_4 P_i'(x_i) \quad (6)$$

Математическое ожидание общего количества неблагоприятных явлений Np, может быть определено по формуле:

$$N_p = 730(\sum P_i'(x_i) + 2\sum_1^2 \Pi_2 P_i(x_i) + 3\sum_1^3 \Pi_3 P_i(x_i) + 4\sum_1^4 \Pi_4 P_i(x_i) \quad (7)$$

Результаты расчетов и их сравнение с данными наблюдениями приведены в таблице 6.

Как видно из сопоставления расчетные данные хорошо совпадают с явлениями фактических наблюдений. Ошибка составляет:

$$\delta = \frac{639 - 616}{616} \cdot 100 = 3{,}7\ \%$$

Таким образом, предложенная методика может быть использована для определения и прогнозирования вероятности появления неблагоприятных метеорологических явлений и их сочетаний по распределению вероятности каждого явления.

Таблица 6

Математическое ожидание общего количества неблагоприятных явлений

Метеорологические факторы и их сочетания	Расчетные показатели		Фактически наблюдалось случаев
	Вероятность появления неблагоприятных явлений	Ожидаемое количество случаев	
Туман, P_1	0,0380	28	32
Дождь, P_2	0,0468	34	34
Снегопад, P_3	0,0396	29	30
Ветер, P_4	0,0298	22	23
Метель, P_5	0,0490	35	38
Гололед, P_6	0,0183	14	16
Температура воздуха, P_7	0,0246	18	23
Относительная влажность, P_8	0,0262	19	16
Итого:	0,2723	199	212
Сочетания двух элементов	0,2523	184	194
Сочетаний трех элементов	0,0212	15	13
Сочетаний четырех элемнтов	0,0002	1	-
Общее количество неблагоприятных метеорологических явлений, N_p	-	616	639

Библиографический список

1. Substantiation based on simulation modeling of hitch for tillage tools parametersZelikov V.A., Posmetev V.I., Latysheva M.A. World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30. № 4. С. 486-492.
2. Комплексное моделирование процесса функционирования автомобильных лесовозных дорог в сапрКурьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. депонированная рукопись № 1088-В2004 24.06.2004
3. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движениемСкрыпников А.В. Бюллетень транспортной информации. 2010. № 1. С. 14-18.
4. Substantiation and evaluation of effectiveness of perspective constructions of forest tractors ancillary equipmentPosmetyev V.I., Zelikov V.A., Drapalyuk M.V., Latysheva M.A., Shatalov E.V. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 3. С. 1840-1855.
5. Курьянов В.К. Повышение эффективности функционирования системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» в лесном комплексе [Текст] / В.К. Курьянов, О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников, А.Ю. Чувенков. - Москва: изд-во «Флинта», «Наука», 2010. - 130 с.
6. Способы формализации метода морфологического ящикаСкрыпников А.В., Чернышова Е.В., Эль Иаали Т., Ширинкин Н.В. В сборнике: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечениеКонференция приурочена к 85-летию ВГУИТ и проводится в рамках реализации V агропромышленного конгресса и Ассоциации «Технологическая платформа «Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания». 2015. С. 444-451.
7. Повышение эффективности функционирования автомобильных дорог лесного комплекса [Текст]: монография / Козлов В.Г., Смирнов М.Ю., Скрыпников А.В., Дорохин С.В., Скворцова Т.В., Журавлев И.Н. Йошкар-Ола, 2016.
8. Теория вероятностей : учебник / Е.С. Вентцель. — 11-е изд., стер. — М. : КНОРУС, 2010. — 664 с.
9. Berestnev O, Soliterman Y, and Goman A 2000 International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings 325-332.
10. Park K, Hwang Y, Seo S, Asce M and Seo H 2003 Journal of Construction Engineering and Management 129 (1)

25–31.
11. Skrypnikov A V, Dorokhin S V, Kozlov V G and Chernyshova E V 2017 Mathematical model of statistical identification of car transport informational provisionJournal of Engineering and Applied Sciences 2 511-515

References

1. Ivannikov V.A. *Modelirovaniye informatsionnykh system gruzopotokov na lesozagotovitelnykh predpriyatiyakh* / V.A Ivannikov. A.V. Bykov. A.S. Sushkov // *Stroitelnyye i dorozhnyy mashiny*. – 2012. – № 2. – S. 24–28.

2. *Kompleksnoye modelirovaniy protsessa funktsionirovaniya avtomobil'nykh lesovoznykh dorog v sapr* Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., KondrashovaYe.V. *deponirovannaya rukopis'* № 1088-V2004 24.06.2004

3. *Teoreticheskiye osnovy I metody organizatsii I upravleniya dorozhnym dvizheniyem Skrypnikov* A.V. *Byulleten' transportnoy informatsii*. 2010. № 1. S. 14-18.

4.*Obosnovaniye I otsenka effektivnosti perspektivnykh konstruktsiy vspomogatel'nogo oborudovaniya lesnykh traktorov* Posmet'yev V.I., Zelikov V.A., Drapalyuk M.V., Latysheva M.A., ShatalovYe.V. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. T. 11. № 3. S. 1840-1855.

5. Kur'yanov V.K. *Povysheniye effektivnosti funktsionirovaniya sistemy «Voditel'-Avtomobil'-Doroga-Sreda» v lesnom komplekse* [Tekst] / V.K. Kur'yanov, O.V. Ryabova, Ye.V. Kondrashova, A.V. Skrypnikov, A.YU. Chuvenki. - Moskva: izd-vo «Flinta», «Nauka», 2010. - 130 s.

6. *Sposoby formalizatsii metoda morfologicheskogo yashchika* Skrypnikov A.V., ChernyshovaYe.V., El' Iaali T., Shirinkin N.V. V sbornike: *Prodovol'stvennayabezopasnost': nauchnoye, kadrovoyeiinformatsionnoyeobespecheniye-Konferentsiyapriurochena k 85-letiyu VGUIT iprovoditsya v ramkakhrealizatsii V agropromyshlennogokongressaiAssotsiatsii «Tekhnologicheskayaplatforma «Tekhnologiipishchevoyipererabatyvayushcheypromyshlennosti APK – produktyzdorovogopitaniya»*. 2015. S. 444-451.

7. P*ovysheniyeeffektivnostifunktsionirovaniyaavtomobil'nykhdoroglesnogokompleksa* [Tekst]: monografiya / Kozlov V.G., Smirnov M.YU., Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Skvortsova T.V., Zhuravlev I.N. Yoshkar-Ola, 2016.

8. *Teoriya veroyatnostey* :uchebnik / Ye.S. Venttsel'. — 11-ye izd., ster. — M. : KNORUS, 2010. — 664 s.

9. Berestnev O., Soliterman YU., Goman 2000 *Mezhdunarodnyy simpozium po istorii mashin I mekhanizmov*. Trudy 325-332.

10. Park K, Hwang Y, Seo S, Asce M and Seo H 2003 Journal of Construction Engineering and Management 129 (1) 25–31.

11. Skrypnikov A. V., Dorokhin S. V., Kozlov V. G., Chernyshova Ye. V. 2017 *Matematicheskaya model' statisticheskoyidentifikatsiiinformatsionnogoobespecheniyaavtomobil'nogotransporta. Zhurnalinzhenernykh i prikladnykhnauk* 2 511-515

Сведения об авторах

Козлов Вячеслав Геннадиевич – доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российской Федерации; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Скрыпников Алексей Васильевич – профессор кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российской Федерации; e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

Микова Елена Юрьевна - экстерн кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", г. Воронеж, Российской Федерации, e-mail: Leencha@ya.ru

Могутнов Роман Викторович - экстерн кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", г. Воронеж, Российской Федерации,

e-mail: r-mogutnov@mail.ru

Зеликова Юлия Андреевна – студентка ФГБОУ ВО "Воронежский государственный университет инженерных технологий", г. Воронеж, Российской Федерации,e-mail: Leencha@ya.ru

Information about authors

Kozlov Vyacheslav Gennadievich – Associate Professor of Department of exploitation of transport and technological machines, Federal State Budget Education Institution of Higher Education " Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great", Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Skrypnikov Alexey Vasilyevich – Professor, Department of information security of the "Voronezh state University of engineering technologies", doctor of technical Sciences, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru

Mikova Elena Y.- external information security department FSBEI HE"Voronezh State University of Engineering Technologies", Voronezh, Russian Federation,e-mail: Leencha@ya.ru

Mogutnov Roman Viktorovich - external information security department FSBEI HE "Voronezh State University of Engineering Technologies" , Voronezh, Russian Federation,e-mail: r-mogutnov@mail.ru

Zelikova Yuliya Andreevna.- a student of the "Voronezh State University of Engineering Technologies", Voronezh, Russian Federation,e-mail: Leencha@ya.ru

DOI:10.12737/article_5b2406128d42b4.62955095
УДК 625.863.4

ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ НИЗКОПРОЧНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

доктор технических наук, доцент **И.Н. Кручинин**[1]
Ведущий инженер **В.А. Ращектаев**[2]

1- ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация
2- ООО «Проектное бюро Р1», г. Екатеринбург, Российская Федерация

В современных условиях ведения лесопромышленной деятельности для строительства и ремонта лесовозных автомобильных дорог, возможность применения высококачественных кондиционных строительных материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд становится экономически трудно реализуемой. В то же время использование местных каменных низкопрочных материалов сопряжено с рядом технологических и эксплуатационных трудностей. При отсутствии вяжущего материала основным физико-механическим параметром, оценивающим эксплуатационные характеристики дороги будет являться структурная прочность конструктивного слоя. Нами были проведены лабораторные исследования по изучению изменения зернового состава при уплотнении каменных материалов из различных горных пород. Проведена оценка степени влияния размеров измельченных частиц на структурную прочность слоя покрытия. Изучено влияния крупности частиц на удерживающие силы между ними. Было показано, что частицы крупностью менее 0,25 мм способны образовывать помимо физических связей еще и химические, цементирующие связи за счет реакции с водой. На основе этих данных изучено влияние мелкого заполнителя на величину контактных усилий между частицами различных каменных материалов и на скорость его измельчения. Рассмотрено влияние катков на уплотняемый каменный материал при строительстве лесовозных дорог и получены зависимости его взаимодействия с виброваль-