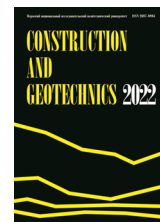




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 15, № 1, 2024

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2024.1.03

УДК 656.13/73.31.41

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИЗНОСА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

В.Д. Тимоховец, Т.Г. Бабич

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 20 октября 2023
Одобрена: 24 января 2024
Принята к публикации:
05 февраля 2024

Ключевые слова:

износ дорожного покрытия, масса шипа, скорость движения, материалы дорожной одежды, транспортный поток.

АННОТАЦИЯ

Инфраструктура городов, в особенности крупнейших и крупных, в современном мире постоянно развивается. Данный факт влечет за собой множество последствий, в том числе и в транспортной сфере. Так, в частности, рост объемов движения автомобильного транспорта (как транзитного, так и местного) напрямую сказывается на состоянии дорожного покрытия. В данной статье рассматривается проблема определения износа дорожного покрытия в ее верхних слоях. В работе выполнено изучение широкого спектра факторов, влияющих на величину износа дорожного покрытия, основные из которых исследованы более детально, а именно: тип климата, материалы дорожной одежды, характеристики транспортного потока (скорость и состав движения). Установлена взаимосвязь между параметрами для дальнейшего исследования. На данном этапе работы для исследования и более детального изучения были выбраны такие факторы, как тип климата, прочность каменного материала, масса шипа (колес автомобилей на зимней резине) и скорость движения автомобильного транспорта. Изучены обеспеченность регионов Российской Федерации каменными материалами и условия их применимости. Разработаны графики зависимости массы шипа на зимней резине от скорости движения на примере легковых автомобилей, проведен анализ математических моделей, описывающих данную взаимосвязь, и установлена функция, наиболее точно описывающая собранные данные, – кубическая регрессия. Установлена взаимосвязь скорости движения, массы шипа и износа дорожного покрытия с учётом прочности каменного материала. Выполнена проверка адекватности разработанных уравнений. В дальнейшем планируется расширение банка данных по износу дорожного покрытия за счет изучения влияния температуры плавления/хрупкости битума, интенсивности движения грузовых автомобилей.

© Тимоховец Вера Дмитриевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: timohovetsvd@tyuiu.ru.

Бабич Татьяна Григорьевна – ассистент, e-mail: babichtg@tyuiu.ru.

Vera D. Timokhovets – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: timohovetsvd@tyuiu.ru.

Tatyana G. Babich – Assistant, e-mail: babichtg@tyuiu.ru.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

DETERMINATION OF ROAD SURFACE WEAR AND TEAR

V.D. Timokhovetz, T.G. Babich

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 October 2023
Approved: 24 January 2024
Accepted for publication:
05 February 2024

Keywords:

road surface wear, spike mass,
speed of movement, road-clothing
materials, traffic flow.

ABSTRACT

The infrastructure of cities, especially the largest and largest in the modern world, is constantly developing. This fact entails many consequences, including in the transport sector. Therefore, in particular, the growth in the volume of motor transport (both transit and local) directly affects the condition of the road surface. This article discusses the problem of determining the wear of the pavement in its upper layers. The paper studies a wide range of factors affecting the amount of road surface wear, the main of which are investigated in more detail, namely: the type of climate, the materials of the pavement, the characteristics of the traffic flow (speed and composition of traffic). The relationship between the parameters for further research has been established. At this stage of the work, such factors as the type of climate, the strength of the stone material, the weight of the spike (wheels of cars on winter tires) and the speed of motor transport were selected for research and more detailed study. The provision of the regions of the Russian Federation with stone materials and the conditions of their applicability have been studied. Graphs of the dependence of the weight of a spike on winter tires on the speed of movement on the example of passenger cars have been developed, an analysis of mathematical models describing this relationship has been carried out and a function has been established that most accurately describes the collected data – cubic regression. The relationship between the speed of movement, the weight of the spike and the wear of the pavement, taking into account the strength of the stone material, is established. The adequacy of the developed equations is checked. In the future, it is planned to expand the data bank on road surface wear by studying the influence of the melting temperature / fragility of bitumen, traffic intensity, trucks.

Введение

Непрерывное развитие городских структур [1] обусловлено множеством факторов, среди которых: повышение уровня автомобилизации, прирост численности населения, в первую очередь путем миграции из ближайших малых населенных пунктов, повышение объемов грузоперевозок [2], в том числе доставка товаров различного назначения (строительных материалов, продуктовых корзин и т.д.) между городами в рамках непрерывной автоматизации всех процессов экономической деятельности. Эти и другие факторы оказывают прямое и косвенное воздействие на улично-дорожную сеть городов (в которую входят улицы и городские дороги и магистральные скоростные дороги) [3, 4], в связи с чем повышается спрос на личный и общественный транспорт и грузовые перевозки, что, в свою очередь, влияет на срок службы дороги в целом и особенно отражается на состоянии дорожного покрытия, а именно на его износе, который в настоящее время появляется на вновь уложенном покрытии быстрее заложенных нормативными документами сроков.

Объектом данного исследования является дорожная одежда. Предмет исследования – износ дорожного покрытия.

Цель и задачи исследования:

Целью данного исследования является разработка уравнений по определению износа дорожного покрытия в верхних слоях дорожной одежды.

Основные задачи исследования:

1. Изучить факторы, влияющие на появление износа дорожного покрытия.
2. Рассмотреть взаимосвязь влияющих факторов.
3. Разработать математические зависимости по определению износа.
4. Проверить математические модели на адекватность полученных результатов.

Основная часть

В процессе изучения развития износа в верхних слоях дорожных одежд [5] был определен целый ряд параметров, с учетом степени влияния каждого из них. Основные из них представлены на рис. 1.

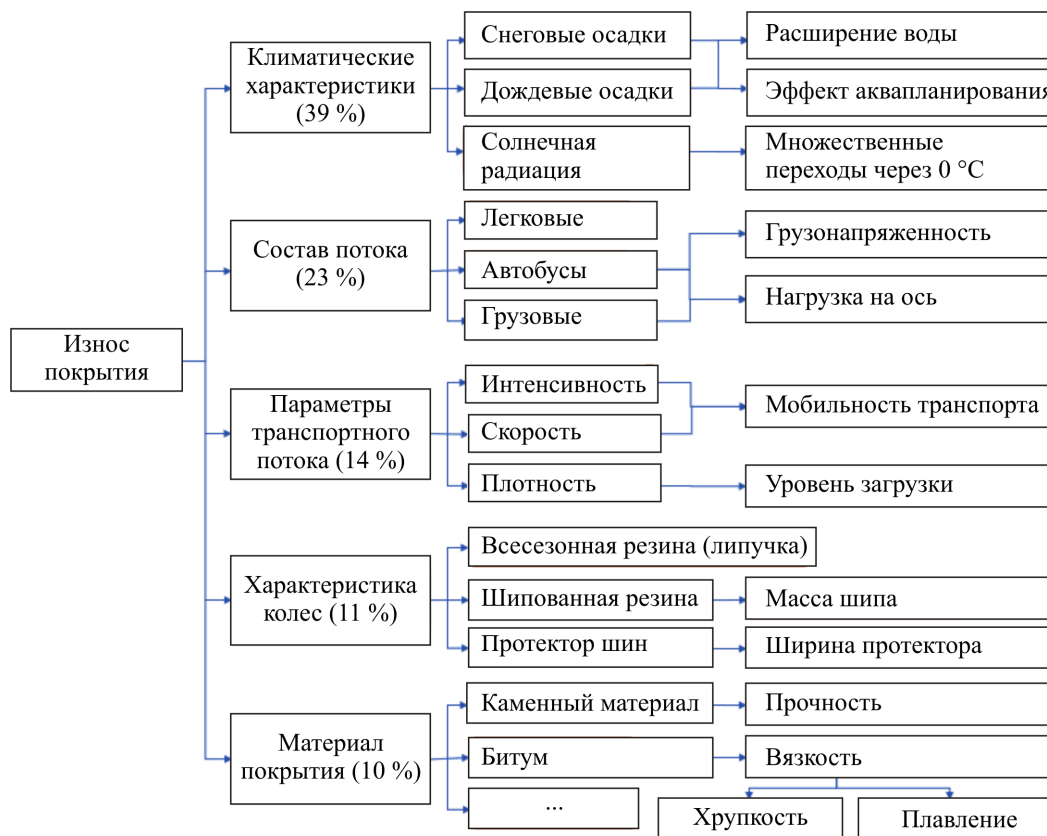


Рис. 1. Факторы, влияющие на износ покрытия

Fig. 1. Factors affecting coating wear

При широком интервале изменчивости влияния всех групп факторов воздействие климата на территории Российской Федерации является определяющим в данном исследовании, ведь именно указанный показатель изменяется как в течение года, так и в течение суток в широком диапазоне варьирования в отличие от остальных. Также климатические факторы имеют прямое влияние на износостойкость материалов дорожного покрытия [6], в связи с чем авторы в первую очередь изучили эту группу.

Для дальнейшего исследования города были классифицированы в зависимости от разницы температур в течение годового цикла по многолетним наблюдениям в связи с тем, что существующие типы климата не отображают всю суть влияния погодно-климатических условий на дорожное покрытие. При детальном рассмотрении климатических характеристик крупнейших городов и стремящихся к ним в Российской Федерации были оценены минимальные и максимальные значения температур, их разница и объем годовых осадков (табл. 1).

На территории нашей страны можно встретить различные типы климата, в каждом из которых наблюдаются свои особенности, связанные с износом дорожного покрытия. В частности, прочность каменного материала при холодных температурах [7] и температура хрупкости/размягчения битума [8], что, в свою очередь, при взаимодействии определенных параметров может привести к повышению скорости и величины износа покрытия.

Путём качественного анализа факторов, представленных на рис. 1, были определены основные показатели, взаимодействующие с покрытием колёс автотранспортных средств, и отображены наиболее значимые из них. Взаимосвязь факторов между собой представлена на рис. 2.

Таблица 1

Климатические данные по городам Российской Федерации (фрагмент)

Table 1

Climatic data for cities of the Russian Federation (fragment)

№ п/п	Город	Автомобиль/ тыс. человек	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	t_{\min}	t_{\max}	Годовые осадки, см		Тип климата*
						снежный покров	количество осадков	
1	Москва	308	34	-10	+24	114	10,3	II
2	Санкт-Петербург	330	32	-9	+23	86	70,8	I
3	Новосибирск	287	47	-22	+25	110	42,5	III
4	Екатеринбург	315	41	-17	+24	118	60,1	III
5	Казань	305	40	-15	+25	116	55,8	II
6	Нижний Новгород	290	37	-13	+24	126	64,8	I
7	Челябинск	291	45	-21	+24	181	43,0	III
8	Самара	335	40	-13	+27	114	57,9	II
9	Омск	300	47	-22	+25	100	41,5	III
10	Ростов-на-Дону	234	36	-6	+30	46	61,8	II
11	Уфа	312	44	-19	+25	120	59,0	III
12	Красноярск	296	46	-20	+25	114	46,5	III
13	Воронеж	308	36	-10	+26	97	57,2	I
14	Пермь	242	41	-17	+24	143	45,0	III
15	Волгоград	263	39	-9	+30	66	26,7	II
16	Саратов	336	32	-8	+23	66	46,0	I
17	Тюмень	319	35	-16	+19	95	48,0	II
18	Тольятти	309	31	-10	+21	43	49,2	I
19	Ижевск	290	42	-17	+25	113	51,1	III

Примечание:

* I – изменения температуры в течение года колеблются от 0 до 32 °С;

II – изменения температуры в течение года колеблются от 33 до 40 °С;

III – изменения температуры в течение года колеблются от 40 °С.

Значительную часть территории Российской Федерации занимает II и III типы климата (69 %), с учетом указанного процентного превосходства было принято решение начать исследование именно с этих типов климата. Тип климата I не исключает наличия влияния каменного материала, но преимущество в данном типе отдано температуре размягчения/хрупкости битума. После подробного изучения влияния температуры хрупкости и размягчения будут учтены оба параметра, которые при взаимосвязи с каменным материалом отобразят более точные данные об изменении износа дорожного покрытия.

Как показано на рис. 2, упомянутые типы климата оказывают значительное влияние на износ каменного материала, который применяется при производстве работ [9]. При детальном изучении формирования износа в указанных типах климата было отмечено, что каменный материал в большей степени изнашивается из-за регулярного применения в переходные и холодные периоды шипованной резины. На данном этапе исследования рассмотрим влияние наличия шипов, разрешенных на территории РФ и многократно ухудшающих состояние покрытия, в зависимости от скорости движения транспортных средств, ведь именно от скорости движения зависит масса шипа, который непосредственно взаимодействует с дорожным покрытием.

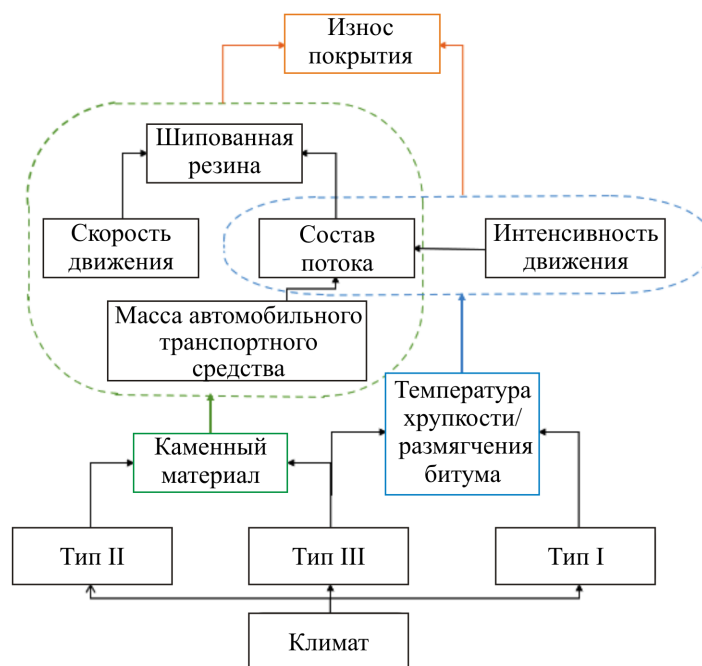


Рис. 2. Значимые факторы, влияющие на износ дорожного покрытия
 Fig. 2. Significant factors affecting road surface wear

В исследовании рассмотрено самое распространённое на территории РФ дорожное покрытие – асфальтобетон горячей укладки, одним из составляющих которого является каменный материал, от свойств которого зависит несущая способность дорожного покрытия.

Шипованная резина имеет различное влияние на все каменные материалы, так как они характеризуются разной степенью прочности, поэтому следующим изучен вопрос обеспеченности регионов Российской Федерации каменными материалами (рис. 3).



Рис. 3. Обеспеченность регионов РФ каменным материалом (щебнем)
 Fig. 3. Provision of Russian regions with stone material (crushed stone)

Рост промышленности по добыче и производству щебня неравномерен относительно пространственного развития территории страны, в связи с чем возникают затруднения по доставке каменного материала до места строительства транспортных объектов. Этот и другие факторы, возникающие при производстве работ, обосновывают изменения в подборе заложенных изначально на стадии проекта материалов. При подборе аналогов, уступающих в определённом отношении, существенно изменяется прочность, износостойкость, долговечность дорожных одежд и, как следствие, автомобильных дорог в целом.

Так как прочность каменного материала имеет весомое влияние на износ дорожного покрытия, для дальнейшей работы был проведен анализ поставляемых материалов и распределение их на основные группы в зависимости от их крепости (табл. 2).

Таблица 2

Классификация каменных материалов по крепости f
(шкала проф. М.М. Протодяконова) и условиям их применимости

Table 2

Classification of stone materials by strength f (scale of Prof. M.M. Protodyakonov)
and conditions of their applicability

Параметр	Очень крепкие, $f \geq 15$	Крепкие, $8 \leq f < 15$	Довольно крепкие, $5 \leq f < 8$
Наименование горной породы	Базальт, кварцит, диабаз	Гранит, доломит, известняк	Диорит, габбро, гравий, порфирит
Условия применимости	Расположение объектов в СЗФО; УрФО, СФО, ДФО	Расположение объектов преимущественно в европейской части РФ (за исключением южных ФО), СЗФО; ДФО	Расположение объектов вблизи водоемов и прибрежных территорий: ЮФО, СКФО и др. – гравий, остальное – УрФО и СФО
	Высокие категории транспортных объектов (IA, IB, IV, II, магистральные улицы и дороги)	Объекты повышенной интенсивности движения (IV, II, магистральные улицы и дороги)	Остальные объекты: II с пониженной интенсивностью движения, III, IV

Примечание:

СЗФО – Северо-западный федеральный округ;

УрФО – Уральский федеральный округ;

СФО – Сибирский федеральный округ;

ДФО – Дальневосточный федеральный округ;

ФО – федеральный округ;

ЮФО – Южный федеральный округ;

СКФО – Северо-Кавказский федеральный округ.

Результаты

Для разработки зависимости по определению износа дорожного покрытия и объединения данных, указанных на рис. 2, в единый массив (выделенных зеленым цветом) был выбран следующий алгоритм действий:

1. Выбор необходимых начальных параметров исследования: тип и скорость движения рассматриваемой группы транспортных средств.

2. Проведение экспериментальных исследований по набору банка данных износа дорожного покрытия.

3. Разработка графических и эмпирических закономерностей массы шипа от скорости движения, в силу наличия прямой зависимости между ними.

4. Выбор оптимальной зависимости и проверка разработанных уравнений на адекватность значений.

5. На основе полученных данных о массе шипа разработка графика зависимости износа дорожного покрытия с учетом классификации каменных материалов.

6. Проверка разработанных уравнений на степень отклонений расчетных значений от фактических.

Состав транспортного потока оказывает значительное влияние на все его параметры, а также на нагрузку дороги и характеризуется соотношением в нем транспортных средств различного вида [10, 11]. В данном исследовании деление производилось на легковые, малые грузовые (до двух тонн) и грузовые автотранспортные средства повышенной тяжести (более двух тонн). По данным наблюдений на примере города Тюмень среднее распределение потока по данным группам составило 89 : 4 : 7, что говорит о значительном преобладании легковых автомобилей в транспортном потоке, в связи с этим было принято разработать уравнения первоначально на примере легковых автомобилей.

Экспериментальные исследования по определению скорости движения легковых автомобилей проводились на протяжении нескольких лет путем натуральных наблюдений с использованием дистанционных технологий (видеомониторинга) [12], а именно фиксировалась длина изучаемого участка, время заезда автомобиля на него и время его выезда, после чего рассчитывалась средняя скорость движения по длине объекта наблюдения.

При выполнении следующего пункта разработанного алгоритма исследование износа дорожного покрытия производилось раз в полгода путем наблюдения разницы толщины дорожного покрытия. Самым бюджетным способом определения оказалось измерение двухметровой рейкой. Измерения производились в ночное время суток во избежание аварийно-опасных ситуаций с перекрытием движения на участке работ по исследуемой полосе. Замеры выполнялись на трассах федерального и регионального значения (например, участки трасс: Р-402 Тюмень – Ялуторовск – Ишим – Омск, М7 Москва – Владимир – Нижний Новгород – Казань – Уфа и др.) с 2017 по 2022 г. Годовые значения износа, полученные в ходе измерений, варьируются в пределах от 20 до 200 мм в зависимости от числа приложений нагрузки, от каменного материала, используемого в покрытии и т.д.

Минимальное количество экспериментов, рассчитанное по матрице планирования экспериментов, составило восемь измерений. Для повышения достоверности данных при определении оптимального количества экспериментов по методу, предложенному в научных трудах Я.В. Хомяка, количество выполняемых измерений составило 56 [13].

Далее для разработки графических и эмпирических закономерностей массы шипа от скорости движения были проанализированы известные данные по изменению массы шипа [14] в зависимости от увеличения скорости движения транспортного средства согласно теории относительности [15]. Исследование проводилось для легкового автомобиля. Графическое изображение зависимости представлено на рис. 4.

Разработанные графические зависимости были проверены на адекватность значений для определения подходящей математической функции, которая наиболее точно описывает результаты исследования [16]. В результате отобраны для сравнения основные функциональные математические зависимости: по законам линейной, квадратичной, кубической, показательной и экспоненциальной регрессий, по ним был выполнен контроль данных, представленный в табл. 3.

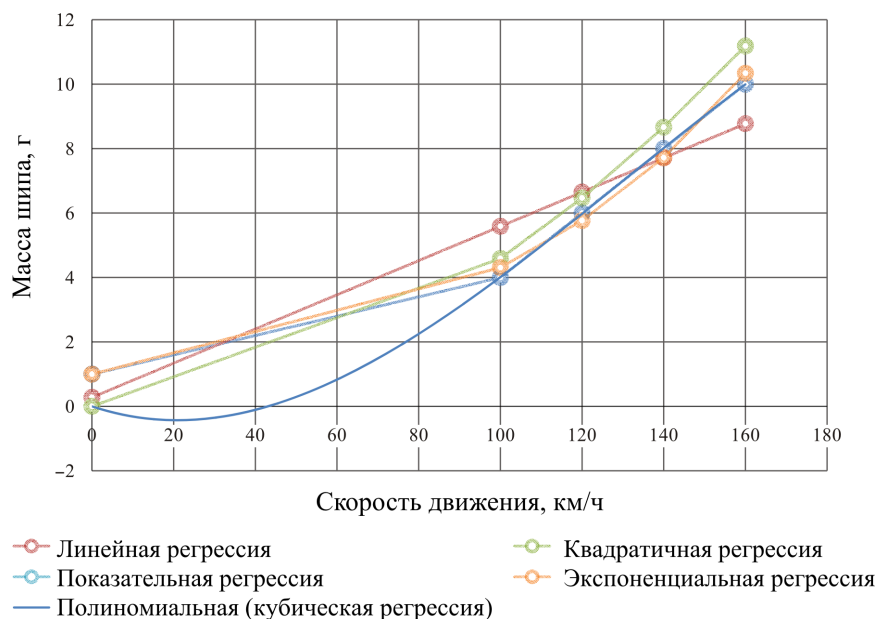


Рис. 4. Графическое изображение рассматриваемых математических моделей для легкового автомобиля
 Fig. 4. Graphic representation of the considered mathematical models for a passenger car

Таблица 3

Сравнительный анализ рассматриваемых математических моделей на примере легкового автомобиля

Table 3

Comparative analysis of the considered mathematical models on the example of a passenger car

$y - m_{ш}, \Gamma$	$x - V, \text{ км/ч}$	Линейная регрессия	Квадратичная регрессия	Кубическая регрессия	Экспоненциальная регрессия
		$y = 0,0531 \cdot x + 0,2784$	$y = 0,0004 \cdot x^2 - 0,0059 \cdot x$	$y = -0,6 \cdot x^3 + 0,0011 \cdot x^2 + 0,0426 \cdot x$	$y = e^{0,0146x}$
1	0	0,2784	0	0	4,305959528
4	100	5,5884	4,59	4,43	5,766123398
6	120	6,6504	6,468	6,43	7,721433243
8	140	7,7124	8,666	8,23	10,33979456
10	160	8,7744	11,184	10,04	4,305959528
Контроль данных					
Параметр	Линейная регрессия	Квадратичная регрессия	Кубическая регрессия	Экспоненциальная регрессия	
	$y = 0,0531 \cdot x + 0,2784$	$y = 0,0004 \cdot x^2 - 0,0059 \cdot x$	$y = -0,6 \cdot x^3 + 0,0011 \cdot x^2 + 0,0426 \cdot x$	$y = e^{0,0146x}$	
Коэффициент парной корреляции	0,9614	1,0000	1,0000	—	
Коэффициент детерминации	0,9243	1,0000	1,0000	—	
Средняя ошибка аппроксимации, %	0,146	0,096	0,0387	0,113	

Как видно из представленного материала (рис. 4 и табл. 3), наиболее достоверной и адекватной является модель кубической регрессии, представляющая собой наиболее высокую связанность между фактической и математической моделями; приближение коэффициента детерминации к единице говорит о максимально возможной зависимости моделей (с наименьшей долей дисперсии зависимой переменной) [17]. Средняя ошибка аппроксимации составила 0,1182 и находится в допустимых пределах (не превышает 0,15 [18]). По графику, представленному на рис. 4, возможно определить массу шипа в зависимости от скорости движения транспорта.

После определения зависимости массы шипа от скорости движения с помощью математических преобразований [19] становится возможным нахождение износа покрытия на объектах улично-дорожной сети с учетом каменного материала, использованного в составе дорожного покрытия (рис. 5).

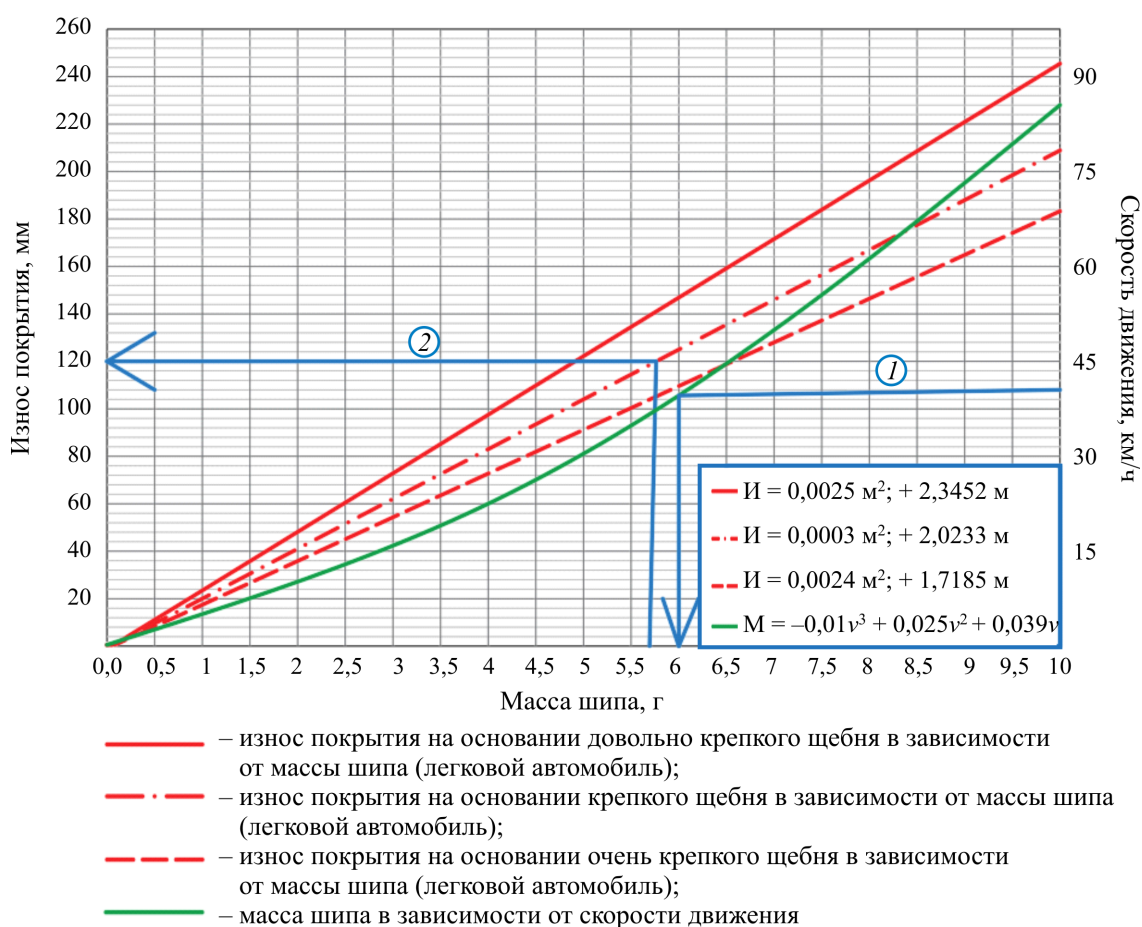


Рис. 5. Определение износа дорожного покрытия в зависимости от массы шипа и прочности применяемого каменного заполнителя: 1 – определение массы шипа от скорости движения; 2 – определение износа покрытия от массы шипа

Fig. 5. Determination of road surface wear depending on the mass of the spike and the strength of the stone aggregate used: 1 – determination of spike weight from travel speed; 2 – determination of pavement wear from spike weight

Таким образом, наблюдается наглядное увеличение значения величины износа при применении шипованной резины, превышении скорости движения и использовании слабых горных пород. С использованием данного графика становится возможным, зная сред-

ную скорость движения, крепкость каменного материала на участке, представить его годовой износ. Проверка адекватности разработанных уравнений выполнялась по данным действующих дорожно-эксплуатационных организаций, сравнивались фактические значения износа с расчетными. Результаты показали, что отклонения составили не более 25,8 %, что говорит о необходимости повышения достоверности результатов исследования [20, 21] за счет изучения взаимовлияния таких параметров, как температура хрупкости и плавления битума, состав движения и транспортного потока.

Заключение

Были изучены факторы, влияющие на появление износа дорожного покрытия, такие как тип климата, материалы дорожной одежды, характеристики транспортного потока (скорость и состав движения), а также установлена взаимосвязь между параметрами. Более детально изучено влияние на износ дорожного покрытия массы шипа в зависимости от скорости движения и прочности каменного материала. Разработаны математические зависимости по определению износа.

Данные зависимости были получены в регионах с различными погодно-климатическими характеристиками (см. табл. 1), следовательно, могут быть применены при прогнозировании износа дорожного покрытия на территории Российской Федерации.

В дальнейшем планируется расширение банка данных по износу дорожного покрытия за счет изучения влияния температуры плавления/хрупкости битума, интенсивности движения грузовых автомобилей.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Башкарев, А.А. Развитие транспортной инфраструктуры как одна из приоритетных задач многонационального государства (на примере Северо-Западного федерального округа) / А.А. Башкарев // Путевой навигатор. – 2022. – № 52 (78). – С. 52–61.
2. Николаев, Р.С. Современные тенденции развития грузоперевозок автомобильным транспортом в России: структурные и логистические аспекты / Р.С. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2019. – № 4. – С. 290–306. DOI: 10.15593/2224-9354/2019.4.22
3. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
4. An analytical framework for accurate traffic flow parameter calculation from uav aerial videos / I. Brkić, M. Miler, D. Medak, M. Ševrović // Remote Sensing. – 2020. – Т. 12, № 22. – С. 1–20. DOI: 10.3390/rs12223844
5. Васильев, А.П. Справочная энциклопедия дорожника. Т. II. Ремонт и содержание автомобильных дорог. Гл. 6. Виды деформаций и разрушений автомобильных дорог в процессе эксплуатации. 6.4. Износ дорожных покрытий и его причины / А.П. Васильев. – М.: Инфортавтомобиль, 2004. – 31 с.

6. Евсеев, С.А. Способы повышения износостойкости слоя дорожного полотна / С.А. Евсеев, И.И. Овчинников // Молодой ученый. – 2022. – № 16 (411). – С. 87–89.
7. Хафизов, Э.Р. Методика испытания каменного материала на прочность при сосредоточенном нагружении в дорожном строительстве / Э.Р. Хафизов, Т.Ф. Гусманова // Техника и технология транспорта. – 2021. – № 2 (21). – С. 1–4.
8. Ястремский, Д.А. Определение температуры хрупкости битума с целлюлозосодержащими стабилизирующими добавками для щебеночно-мастичного асфальтобетона / Д.А. Ястремский // Образование. Наука. Производство. Материалы форума. – 2019. – С. 1170–1175.
9. Leskin, A.I. Organic composite binder improving the physical and mechanical properties of low-strength stone materials / A.I. Leskin, S.V. Aleksikov, D.I. Gofman // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020 – Number 2. – 2020. – P. 022002. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022002
10. Testeshev, A.A. T.G. Development of harmonized multifactor mono-dependency to decipher satellite-based monitoring of traffic streams / A.A. Testeshev, V.D. Timohovez, T.G. Mikeladze // Transportation Research Procedia. – St. Petersburg, 2019. – 7 p. DOI: 10.37493/2307-910X.2021.3.2
11. Analysis and comparison of traffic flow models: a new hybrid traffic flow model vs benchmark models / F. Storani, R. Di Pace, F. Bruno, C. Fiori // European Transport Research Review. – 2021. – Vol. 13, № 1. DOI: 10.1186/s12544-021-00515-0
12. Гук, А.П. Дистанционное зондирование и мониторинг территорий. Ч.1. Дистанционное зондирование. Теоретические основы и технические средства / А.П. Гук. – М.: Курс, 2019. – 224 с.
13. Хомяк, Я.В. Организация дорожного движения: учебник / Я.В. Хомяк. – Киев: Вища школа, 1986. – 270 с.
14. Износ асфальтобетонных покрытий шипованной резиной [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dor.spb.ru/index/technology/iznos-pokrytiy/> (дата обращения: 22.03.2022).
15. Клековкин, Е.А. Применение визуального программирования для задач автоматизации в строительстве / Е.А. Клековкин, А.С. Сунцов // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 2, № 2. – С. 128–143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10
16. Evaluation of methods for collecting and processing information in the development of technology for carrying out workings using mathematical modeling / N. Huangan, A. Balabas, L. Valabas, V. Trikov // Труды университета. – 2023. – № 1. – С. 121–124. DOI: 10.52209/1609-1825_2023_1_121
17. Широков, И.В. Математическое моделирование и сравнительный анализ методов обработки экспертных оценок / И.В. Широков, М.С. Седина // Modern Science. – 2020. – № 5–1. – С. 421–425.
18. Герасимов, А.Р. Некоторые задачи автомобильного транспорта, решаемые с помощью методов теории вероятности и математической статистики / А.Р. Герасимов, Я.О. Гришанова // Автомобильная промышленность. – 2019. – № 11. – С. 19–23.
19. Гараев, Г. Математическая статистика и теория вероятностей в математическом анализе / Г. Гараев // Вестник науки. – 2023. – № 8. – С. 347–351.
20. Mathematical model of reliability of information processing computer appliances for real-time control systems / A.V. Aab, P.V. Galushin, A.V. Popova, V.A. Terskov // Siberian

Journal of Science and Technology. – 2020. – № 21. – P. 296–302. DOI: 10.31772/2587-6066-2020-21-3-296-302

21. Пименов, С.И. Строительная информационная модель как инструмент снижения информационной неопределенности в оперативном управлении строительства / С.И. Пименов, Л.А. Коклюгина // *Construction and Geotechnics*. – 2023. – Т. 2, № 2. – С. 116–127. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.09

References

1. Bashkarev A.A. Development of transport infrastructure as one of the priority tasks of a multinational state (on the example of the North-Western Federal District). *Travel Navigator*, 2022, no. 52 (78), pp. 52-61.

2. Nikolaev R.S. Modern trends in the development of cargo transportation by road in Russia: structural and logistic aspects. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic sciences*, 2019, no. 4, pp. 290-306. DOI: 10.15593/2224-9354/2019.4.22.

3. Lobanov E.M. Transport planning of cities. Moscow, Transport, 1990, 240 p.

4. Brkić I., Miler M., Medak D., Ševrović M. An analytical framework for accurate traffic flow parameter calculation from uav aerial videos. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 22, pp. 1-20. DOI: 10.3390/rs12223844.

5. Vasiliev A.P. Reference encyclopedia of the road builder. Vol. II. Repair and maintenance of highways. Chapter 6. Types of Deformations and Disruptions of Roads in the Process of Operation, 6.4. Wear of road surfaces and its causes. 2004, 31 p.

6. Evseev S.A., Ovchinnikov I.I. Ways to increase the wear resistance of the road surface layer. *Young Scientist*, 2022, no. 16 (411), pp. 87-89.

7. Khafizov E.R., Gusmanova T.F. Methodology of testing the stone material for strength under concentrated loading in road construction. *Technics and technology of transport*, 2021, no. 2 (21), pp. 1-4.

8. Yastremskiy D.A. Determination of the bitumen brittleness temperature with cellulose-containing stabilizing additives for a crushed stone-mastic asphalt concrete. *Education. Science. Production. Proceedings of the forum*, 2019, pp. 1170-1175.

9. Leskin A.I., Aleksikov S.V., Gofman D.I. Organic composite binder improving the physical and mechanical properties of low-strength stone materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technology Safety, ICCATS 2020 - Number 2*", pp. 022002. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022002.

10. Testeshev A.A., Timohovez V.D., Mikeladze T.G. Development of harmonized multi-factor mono-dependency to decipher satellite-based monitoring of traffic streams. *Transportation Research Procedia*, Saint Petersburg, 2019, 7 p. DOI: 10.37493/2307-910X.2021.3.2.

11. Storani F., Di Pace R., Bruno F., Fiori C. Analysis and comparison of traffic flow models: a new hybrid traffic flow model vs benchmark models. *European Transport Research Review*, 2021, vol. 13, no. 1. DOI: 10.1186/s12544-021-00515-0.

12. Guk A.P., Evstratova L.G. Remote sensing and monitoring of territories. Part 1: Remote sensing. Theoretical foundations and technical means. 2019, 224 p.

13. Khomyak Y.V. Organization of road traffic. Kiev, Vishcha Shk., 1986, 270 p.

14. Wear of asphalt concrete pavements with studded rubber. Available at: <http://www.dor.spb.ru/index/technology/iznos-pokrytiy/> (accessed 22 March 2022).

15. Klekovkin E.A., Suntsov A.S. Application of visual programming for automation tasks in construction. *Construction and Geotechnics*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 128-143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10.

16. Huangan N., Balabas A., Balabas L., Trikov V. Evaluation of methods for collecting and processing information in the development of technology for carrying out workings using mathematical modeling. *Proceedings of the University*, 2023, no. 1, pp. 121-124. DOI: 10.52209/1609-1825_2023_1_121.

17. Shirokov I.V., Sedina M.S. Mathematical modeling and comparative analysis of methods for processing expert evaluations. *Modern Science*, 2020, no. 5-1, pp. 421-425.

18. Gerasimov A.R., Grishanova Ya.O. Some problems of automobile transportation solved using the methods of probability theory and mathematical statistics. *Automobile industry*, 2019, no. 11, pp. 19-23.

19. Garaev G. Mathematical statistics and probability theory in mathematical analysis. *Vestnik nauki*, 2023, no. 8, pp. 347-351.

20. Aab A.V., Galushin P.V., Popova A.V., Terskov V.A. Mathematical model of reliability of information processing computer appliances for real-time control systems. *Siberian Journal of Science and Technology*, 2020, no. 21, pp. 296–302. DOI: 10.31772/2587-6066-2020-21-3-296-302.

21. Pimenov S.I.; Koklyugina L.A. Construction information model as a tool to reduce information uncertainty in the operational management of construction. *Construction and Geotechnics*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 116-127. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.09.