

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.009>**ВЛИЯНИЕ СВЕРХНОРМАТИВНОЙ НАГРУЗКИ НА ИЗНОС И РАЗРУШЕНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

Научная статья

Каменчуков А.В.^{1,*}, Кормилицына Л.В.², Лопашук В.В.³, Цупикова Л.С.⁴¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;^{1, 2, 3, 4} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (006641[at]pnu.edu.ru)

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы влияния сверхнормативной нагрузки от грузового транспорта на прогнозирование величины износа дорожного покрытия. Рассмотрены задачи по определению и прогнозированию величины износа покрытия дороги в течении годового цикла эксплуатации дороги. Определены недостатки методики оценки износа разработанной Американской ассоциации дорожных специалистов. На основе анализа результатов полевых исследований разработана методика оценки износа покрытий с учетом степени воздействия транспортных средств. Определены коэффициенты приведения по износу для транспортных средств с различной полной массой и осевой нагрузкой. Методом наименьших квадратов определена зависимость коэффициента приведения по износу от грузоподъемности транспортных средств.

Ключевые слова: автомобильная дорога, грузовой транспорт, нагрузка, износ покрытия, метод наименьших квадратов.

INFLUENCE OF EXCESS LOAD ON THE WEAR AND TEAR OF THE ROAD SURFACE

Research article

Kamenchukov A.V.^{1,*}, Kormilitsyna L.V.², Lopashuk V.V.³, Tsupikova L.S.⁴¹ ORCID: 0000-0001-7997-3195;^{1, 2, 3, 4} Pacific National University, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (006641[at]pnu.edu.ru)

Abstract

The article deals with the influence of excess load of freight transport on the prediction of the level of road surface wear. The study analyzes the problems of determining and predicting the level of road surface wear during the annual cycle of road usage and identify the shortcomings of the wear assessment methodology developed by the American Association of State Highway and Transportation Officials. Based on the analyzed results of field studies, the authors develop a method for assessing the wear of coatings, taking into account the degree of impact of vehicles. The wear reduction coefficients for vehicles with different gross weights and axial loads are also determined while the dependence of the coefficient of reduction in wear on the load capacity of vehicles is determined by the least square method.

Keywords: road, cargo transport, load, surface wear, least square method.

Введение

В настоящее время значительно возросла интенсивность движения по дорогам Хабаровского края и изменился состав транспортного потока. Воздействие автомобилей различной грузоподъемности на дорожные одежды неравнозначны. Увеличение нагрузки на ось, полного веса транспортного средства приводит к интенсивному износу покрытий и преждевременному разрушению дорожной одежды [1], [2], [3]. Для уменьшения вероятности разрушения дорожных одежд практикуется ограничение пропуска тяжелых автомобилей в период осенне-весенней распутицы. Однако полностью ограничить движение невозможно ввиду важности транспортных задач региона и лесопромышленных предприятий. Кроме того, большегрузные автомобили разрушают дорожную одежду не только в весенне-осенний период [4], [5], [6]. В этой связи и возникает задача оценить воздействие автомобильной нагрузки на износ дорожного покрытия и разрушение дорожной одежды [7], [8].

Методы и принципы исследования

Для оценки воздействия транспортных средств на дорожные одежды необходимо дифференцированное определение состава движения грузовых транспортных средств. Данные о наличии лесовозного автотранспорта в лесной отрасли Хабаровского края были получены в «Хабаровскуправтодоре». После обработки статистических данных по ходовому количеству грузовых транспортных средств на исследуемых дорогах было принято процентное соотношение для оценки состава движения в зависимости от осевой нагрузки автомобилей, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав грузового движения по исследуемым дорогам

Осевая нагрузка, тс	Количество транспортных средств	Соотношение в составе потока, %
от 6 до 8 тс. включительно	200	16
от 8 до 10 тс. включительно	490	38
от 10 до 12 тс. включительно	405	31
свыше 12 тс.	195	15

Воздействие транспортных средств на износ дорожных одежд оценивается двумя показателями, нагрузкой на ось (тс) или полным весом (т) и удельным давлением в шинах автомобиля (МПа). Нагрузка и диаметр следа от колеса являются производными от этих параметров, поэтому для дорог общего пользования III категории в соответствии с требованиями норм прил. 1 табл. П. 1.1. ОДН 218.046-01 [8] для дорожной одежды должна быть принята расчетная нагрузка группы А1, которая имеет следующие нормативные показатели:

- нагрузка на ось 10 тс,
- нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля (без учета скорости) 5 тс,
- удельное давление в шинах 0,6 МПа.

Деформации, которые испытывают дорожные одежды зависят от техногенных и природных условий.

Разрушения и деформации покрытия происходят вследствие истирания поверхностного слоя, сжатия, сдвига и под действием вертикальных и касательных сил. Разрушения и деформации дорожной одежды возникают, главным образом, под действием статических и кратковременных условий от транспортных средств [4], [6], [10].

При движении подвижного состава деформации и разрушения дорожных одежд и покрытий постепенно увеличиваются, охватывая всё большую площадь автомобильной дороги. Скорость накопления деформаций зависит от механических свойств дорожной одежды, климатических факторов, количества и массы транспортных средств, а также от сроков ремонтных работ [11].

Анализ данных наблюдений за региональными автомобильными дорогами позволяет установить:

- разрушения и деформации дорожных одежд происходят в течение всего годового цикла эксплуатации автомобильных дорог;
- разрушениям и деформациям в зимний период подвержены, как асфальтобетонные покрытия, так и гравийные;
- преобладающими видами деформаций и разрушений покрытий в зимний период являются: для переходных типов покрытий – (из щебня, гравия, ПГС и др.) – выбоины; для асфальтобетонных покрытий – износ;
- в зимний период наиболее серьезные разрушения и деформации дорожных одежд наблюдаются при «мягкой» зиме с продолжительными переходными периодами «весна – осень».

Оценка величины износа покрытий

Износ покрытий является основным видом разрушений дорожных одежд, поскольку, износостойкость дорожного покрытия характеризуется показателем сопротивляемости дорожного покрытия воздействию транспортных средств и обусловлен комплексным воздействием нагрузок от подвижного состава и атмосферных факторов [2], [5], [7]. Для количественной оценки величины износа можно использовать потери материала покрытия с единичной площади по объему и весу в единицу времени. Такой показатель нашел применение при оценке износостойкости дорожных одежд переходного и низшего типа, так как характеризует износ и потребность в материалах для восстановления изношенного покрытия в процессе выполнения ремонтных работ.

Для количественной оценки величины износа усовершенствованных типов покрытий в качестве основного показателя принята средняя величина уменьшения толщины покрытия за определенный период времени. Методика, оценки среднего значения уменьшения толщины покрытий в год, вследствие износа разработана профессором М.Б. Корсунским [12], [13].

Величина слоя износа по линейной зависимости определяется

$$h = a + b \times B, \quad (1)$$

где h – величина износа, мм/год; a – параметр, учитывающий влияние атмосферных факторов на величину износа, мм; b – показатель, учитывающий качество материала покрытия, состав и скорость движения, мм/млн.т. брутто; B – грузонапряженность, млн.т. брутто в год.

Таким образом, разрушения покрытий вследствие износа определяется двумя обобщенными эмпирическими коэффициентами a и b , которые учитывают практически все факторы, влияющие на величину износа. Для асфальтобетонных покрытий в условиях Хабаровского края (II дорожно-климатическая зона избыточного увлажнения) коэффициенты имеют следующие значения [2]:

Параметр a – 0,60 мм; Параметр b – 0,55 мм/млн.т.брутто

Под грузонапряженностью дороги B понимается суммарный вес грузов и транспортных средств, прошедших по данному участку в обоих направлениях в единицу времени.

Вычисленная величина слоя износа по формуле (1) сравнивается с предельно допустимой величиной износа покрытия. При выполнении следующего условия износостойкость дорожного покрытия считается удовлетворительной

$$h \leq [h_0], \quad (2)$$

где $[h_0]$ – предельно допустимая величина износа покрытия с учетом неравномерности истирания, мм/год.

Для асфальтобетонных покрытий допустимая величина износа не должна превышать 10 мм в год при условии нормальной эксплуатации дороги [2].

Учет влияния веса транспортного средства на износ покрытий

Анализируя формулу (1) видно, что величина слоя износа линейно зависит от грузонапряженности дороги, то есть чем больше вес транспортного средства с грузом, тем больше величина износа покрытия. Величина износа возрастает прохождением по одному и тому же участку дороги тяжелых транспортных средств. По методике оценки износа по проф. М.Б. Корсунскому зависимость величины износа от общего веса груженого транспортного средства должна возрастать по закону близкому к линейному. Тем не менее, в этой методике оценка износа проводится обобщенно в зависимости

от общей интенсивности движения грузовых транспортных средств без разделения по видам и общему весу.

Проф. В.М. Сиденко указывает, что на износ существенно влияет состав движения [3]. При этом по данным 60-х годов отмечается, что при движении грузовых автомобилей износ примерно в 2 раза больше, чем при движении легковых.

По данным Американской ассоциации дорожных специалистов величина износа покрытий нелинейно зависит от нагрузки на ось транспортного средства [2]. Используя эмпирические данные Американской ассоциации дорожных специалистов, с помощью корреляционно-регрессивного анализа получены аппроксимирующие экспериментальные данные зависимости относительной величины износа от нагрузки на ось транспортного средства в виде

$$h_{\text{отн}} = 2.08 \left(\frac{Q}{100} \right) - 2.94 \left(\frac{Q}{100} \right)^2 + 3.76 \left(\frac{Q}{100} \right)^3, \quad (3)$$

где $h_{\text{отн}}$ – относительная величина износа; Q – нагрузка на ось транспортного средства, кН.

Зависимость на рис. 1 представляет собой кубическую параболу. За единицу принята нагрузка на ось 60 кН, т.е. нагрузка, соответствующая расчетному автомобилю группы Б. При воздействии расчетной нагрузки группы А, износ покрытия возрастает в 2,9 раза по сравнению с группой Б. В материалах Американская ассоциация дорожных специалистов не рассматривает влияния климатических факторов и типа покрытий на износ покрытий.

Таким образом, приведенный анализ исследований различных авторов (рис. 1) указывает на существенное влияние полного веса транспортного средства (или нагрузки на оси) на величину износа покрытия. Но существующая методика оценки величины износа не учитывает этого фактора.



Рис. 1 – Относительная величина износа покрытия

Методика оценки износа покрытий с учетом степени воздействия транспортных средств

При определении износостойкости дороги для дифференцированной оценки величины износа покрытия предлагается ввести коэффициенты приведения по износу. В качестве эталона для приведения используется расчетная нагрузка. Для обследованной сети дорог принята расчетная нагрузка автомобилей группы А1 с нормативной величиной осевой нагрузки 10 тс. Величина износа h_a от воздействия эталонной нагрузки группы А1 определяется

$$h_a = a + b \times N_r \times G_a, \quad (4)$$

где N_r – общее количество транспортных средств, прошедших по обследуемому участку дороги за год, авт.; G_a – эталонная нагрузка группы А, равная 10 тс.

Рассматривая какое-либо конкретное i -е транспортное средство с фактической максимальной осевой нагрузкой G_i , отличной от нагрузки группы А1, определим величину износа от этого транспортного средства при условии, что общее количество транспортных средств, прошедших за год, равно N_2 , тогда

$$h_i = a + b \times N_r \times G_i, \quad (5)$$

Под коэффициентами приведения по износу принимается отношение величин износа

$$R_{\text{пр.}i} = h_i / h_a \quad (6)$$

Одинаковое количество транспортных средств, прошедших за год, имеющих различную нагрузку, вызывают разную величину износа покрытия. Коэффициенты приведения по износу показывают, насколько данное транспортное средство увеличивает (уменьшает) износ покрытия в сравнении с эталонным, соответствующим расчетным нагрузкам.

Аналогичным образом определим для различных транспортных средств коэффициенты приведения по износу.

Например, легковые автомобили с общей массой 1 т оцениваются коэффициентом приведения по износу равным 0,10. Транспортные средства, более тяжелые, чем расчетные, имеют коэффициенты приведения больше единицы и вызывают соответственно больший износ покрытия.

Если известен состав движения по маркам транспортных средств, то с помощью коэффициентов приведения можно определить приведенный состав движения

$$N_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n N_i \times R_{\text{пр},i} \quad (7)$$

где N_i – интенсивность движения транспортного средства i -ой марки; $R_{\text{пр},i}$ – коэффициент приведения по износу транспортного средства i -ой марки; n – количество марок транспортных средств в составе движения.

Интенсивность и состав движения задаются по общему весу и по видам и группам, поэтому, для практических расчетов удобно использовать обобщенные коэффициенты приведения по износу, которые определяются следующим образом:

– предварительно вычисляются коэффициенты приведения по износу для различных видов транспортных средств с разным общим весом;

– полученные данные группируются по общему весу;

– в каждой группе определяется обобщенный коэффициент приведения по износу. Обобщенные коэффициенты приведения используются для определения приведенной интенсивности движения по формуле, аналогичной формуле (7).

Использование коэффициентов приведения по износу позволяет, с одной стороны, оценить величину износа покрытий с учетом воздействий различных по общему весу транспортных средств, а с другой, – определить долю износа обусловленного одной из групп транспортных средств.

Определение коэффициенты приведения по износу

Основной особенностью предлагаемой методики является использование понятия коэффициента приведения по износу.

Для выполнения расчетов коэффициентов приведения принято количество транспортных средств, прошедших по участку дороги, равным 1 млн автомобилей в год. При выборе этой величины учитывалось, что предельная допустимая величина износа для асфальтобетонных покрытий достигает проходом 1,7 млн автомобилей группы А1 в год. Величина износа асфальтобетонного покрытия при воздействии эталонной нагрузки группы А1 и заданном объеме движения $N_g = 1$ млн по формуле (4) составляет

$$h_a = 0.60 + 0.55 \times 1 \times 10 = 6.10 \text{ мм}$$

Величина износа покрытия от воздействия i -ой марки транспортного средства при $N_g = 1$ млн определяется по формуле (5)

$$h_i = 0.60 + 0.55 \times 1 \times G_i, \quad (8)$$

где G – фактическая максимальная осевая нагрузка.

Коэффициенты приведения по износу при приведении к расчетной нагрузке группы А1 вычисляются с учетом формул (4) и (5) составляет

$$R_{\text{пр},i}^A = 0.090164 \times (1.091 + G_i), \quad (9)$$

Таким образом, для вычисления коэффициентов приведения по износу в качестве исходных данных необходимо знать общий вес – i -го приводимого транспортного средства. Для практически всех отечественных и некоторых зарубежных транспортных средств в справочных материалах НИИАТ [14] приведена информация о полной нагрузке на оси транспортных средств. Эта информация, с некоторыми дополнениями для зарубежных транспортных средств, характерных для Хабаровского края, систематизирована и сформирована в файл АWTOM.

Результаты расчета коэффициентов приведения по износу приведены в таблице 2. Для каждого транспортного средства определены общий вес в тоннах и коэффициенты приведения по износу к расчетным автомобилям группы А1.

Таблица 2 – Коэффициенты приведения по износу

Марка транспортного средства	Коэффициент приведения	Марка транспортного средства	Коэффициент приведения
Седельные тягачи			
Газ-5206	0.591	Камаз-54111	2.160
Зил-130В1-76	1.044	Маз-504В	1.406
Зил-131В	1.153	Маз-5429	1.407
Зил-157КДВ	1.018	Маз-5430	1.780
Каз-608В	0.885	КрА3-255В1	2.031
Урал-377СН	1.410	КрА3-258В1	1.983
Урал-375С-К1	1.286	КрА3-260В	2.253

Окончание таблицы 2 – Коэффициенты приведения по износу

Марка транспортного средства	Коэффициент приведения	Марка транспортного средства	Коэффициент приведения
Седельные тягачи			
Урал-375СН	1.439	Маз-6422	2.443
Камаз-5410	2.154	Маз-5432	2.443
Камаз-54112	2.182	Шкода-706	1.379
Тягачи лесовозных автопоездов			
Маз-504Г	1.460	Зил-131	0.799
Маз-509А	1.401	КрАЗ-255Л	1.893
Маз-515Б	2.100	КрАЗ-260Л	1.738
Маз-5434	1.489	КрАЗ-6437	2.390
Маз-5431	1.444	Комацу КНВФ-12Т	1.927
Урал-375Н	1.442	Мицубиси НВ-103	2.023
Урал-4320А	1.148	ИСУДЗУ ТМК-69	2.002

Анализ результатов, представленных в таблице 2 позволил выявить следующие закономерности: для приближенной оценки величины коэффициентов приведения по износу можно предложить простую формулу:

$$R_{пр.i}^A = 0.1 \times G_i. \quad (10)$$

Кроме этого, необходимо отметить, что коэффициенты приведения по износу, представленные в таблице 2, справедливы только для дорог с асфальтобетонным покрытием.

Для определения обобщенных коэффициентов приведения по износу для различных групп транспортных средств произведен корреляционно-регрессионный анализ зависимости величины коэффициентов приведения (таблица 3) от общего веса транспортного средства. Анализ выполняется на ЭВМ по программе, которая позволяет получить 15 аппроксимирующих формул, вычислить для каждой зависимости коэффициенты регрессии и произвести оценку полученных формул с помощью двух критериев: коэффициента корреляции и дисперсии.

Таблица 3 – Результаты обработки зависимости коэффициента приведения по износу от грузоподъемности транспортных средств

Расчетная формула	Коэффициенты регрессии		Коэффициент корреляции	Остаточная дисперсия
	А	В		
$Y=A \cdot X+B$	0.13322	0.39866	0.92538	1.70763
$Y=A/X+B$	-4.11282	2.14261	-0.85597	3.17703
$Y=1/(A \cdot X+B)$	-0.09341	1.56545	-0.82093	4210.37842
$Y=X/(A \cdot X+B)$	0.19396	3.74751	0.73044	1.44605
$Y=B \cdot A^X$	1.10996	0.58639	0.88743	3.67100
$Y=B \cdot \exp(A \cdot X)$	0.10432	0.58639	0.88743	3.67100
$Y=B \cdot X^A$	0.74930	0.31360	0.94496	1.55041
$Y=B+A \cdot \log(X)$	0.90281	-0.29751	0.92971	1.61211
$Y=A/(B+X)$	-10.70596	-16.75962	-0.82093	4210.33545
$Y=B \cdot X/(A+X)$	15.98997	4.48184	0.93950	1.51717
$Y=B \cdot \exp(A/X)$	-3.60056	2.45541	-0.91768	2.13374
$Y=B+A \cdot X^3$	0.00041	1.09897	0.77985	4.65700
$Y=B+A \cdot X^{0.5}$	0.72832	-0.53398	0.93791	1.43011
$Y=B \cdot X^2+A \cdot X^3$	-0.00669	0.08910	-0.78642	130.56889
$Y=B \cdot X+A \cdot X^2$	-0.00756	0.25663	-0.66397	1.50920

Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости коэффициента приведения по износу для расчетной нагрузки группы А1 от общего веса транспортных средств представлены в таблице 3. В качестве аргумента x принята грузоподъемность, а функцией y является коэффициент приведения. Объем обработанной выработки составил 43 пары элементов. Как видно из табл. 3, наилучшее приближение по коэффициенту корреляции дает степенная функция $y = x^a \cdot b$, а наилучшее приближение при оценке по величине остаточной дисперсии для функции в виде $y = b + a \cdot x$. Анализируя по этим критериям другие виды аппроксимирующих формул для практических расчетов принята линейная зависимость, которая отличается простотой, а коэффициент корреляции и остаточная дисперсия незначительно уступает наилучшим приближениям. После округления зависимость коэффициента приведения по износу от грузоподъемности транспортного средства имеет следующий вид

$$R_{пр.i}^A = 0.133 \times G_i + 0.399. \quad (11)$$

Графическая интерпретация результатов аппроксимации по формуле (11) представленная на рис. 2.

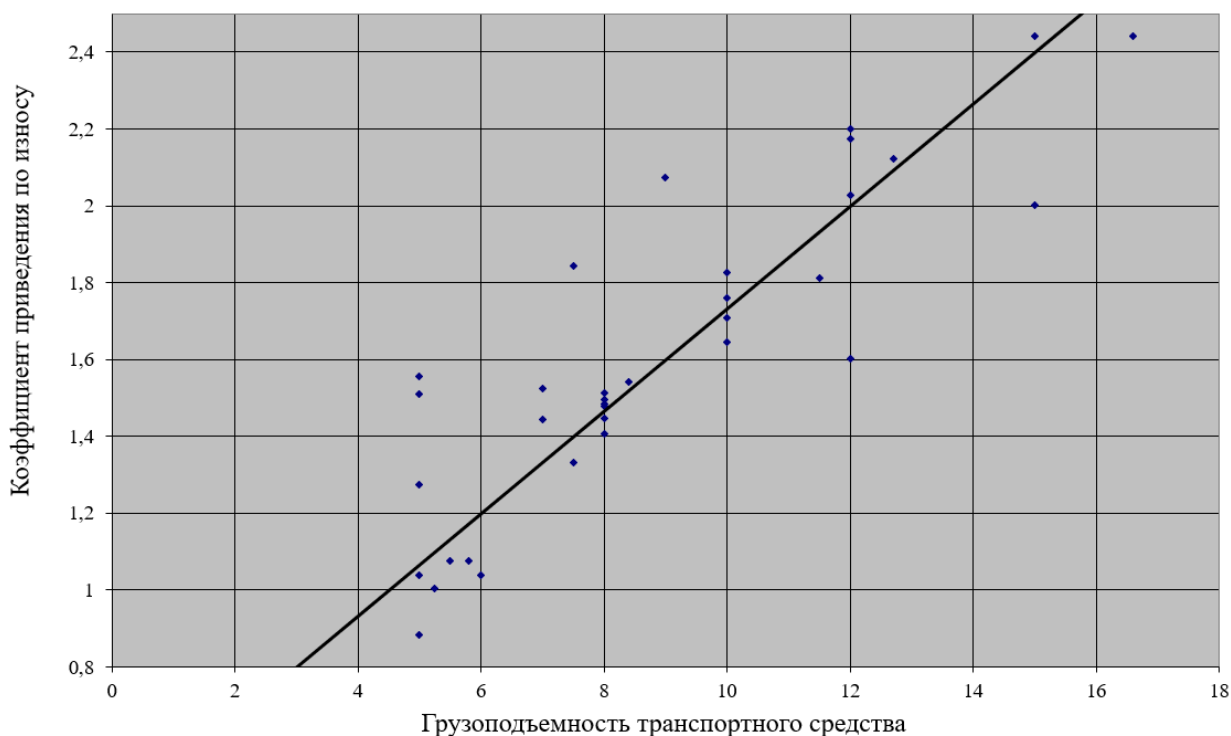


Рис. 3 – Зависимость коэффициента приведения по износу от грузоподъемности транспортных средств

После разбиения прямой (11) на участки, соответствующие различным группам по грузоподъемности назначены величины обобщенных коэффициентов приведения по износу, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Обобщенные коэффициенты приведения по износу
(для асфальтобетонных покрытий при расчетной нагрузке группы А1)

Вид и группа транспортных средств по общему весу	Значение обобщенного коэффициента приведения по износу
при полном весе до 1.5 т	0.8
при полном весе от 1.5 до 5. т	1.0
при полном весе от 5.0 до 7. т	1.2
при полном весе от 7.0 до 10. т	1.6
при полном весе от 10.0 до 15. т	2.2
при полном весе более 15. т	3.0

Заключение

В результате проведенных исследований установлено что величина износа поверхности покрытия от воздействия тяжеловесного автомобильного транспорта зависит от свойств материала покрытия и параметров тяжеловесной автомобильной нагрузки.

На основе обработки результатов статистических наблюдений методом наименьших квадратов определена наилучшая зависимость коэффициента приведения по износу от грузоподъемности транспортных средства, позволяющая дифференцировать транспортный поток и оценить влияние каждой группы транспортных средств на износ покрытия автомобильной дороги.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ларина Т.А. Метод оценки кинетики износа асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Т.А. Ларина, Н.Р. Зубарев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. - 2019. - № 1 (19). - С. 5.
2. Васильев А.Ю. Изучение влияния шипованных шин на износ дорожного покрытия / А.Ю. Васильев, Л.В. Спиридонова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. - 2019. - № 1 (19). - С. 15.
3. Калёнова Е.В. Сравнительная оценка износа асфальтобетонных покрытий / Е.В. Калёнова, С.В. Лугов // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2014. - № 2 (68). - С. 23-25.
4. Пилецкий М.Э. Влияние транспортной нагрузки на качество ремонтных работ дорожных покрытий нежесткого типа с применением струйно-инъекционного метода / М.Э. Пилецкий, К.А. Андрианов, А.Ф. Зубков и др. // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2019. №1. С. 115-121.

5. Алексиков С.В. Расчет пластических деформаций дорожного покрытия от нагрузок грузового транспорта / С.В. Алексиков и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2018. - Т. 54. - № 73.
6. Юшков Б.С. Влияние нагрузок от транспортных средств на автомобильных дорогах / Б.С. Юшков, А.С. Сергеев, Р.И. Габдулхаев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - Т. 3. - № 8-3. - С. 104-108.
7. Васильев, Ю.Э. Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износному колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным / Ю.Э. Васильев, А.В. Ивачев, И.С. Братищев // Интернет-журнал Науковедение. - 2014. - № 5 (24). - С. 20.
8. Мельникова, И.С. Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И.С. Мельникова // Наука и техника. - Минск, 2012. - № 4. - С. 44-52.
9. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта РФ. - М.: Транспорт, 2001. - 93 с.
10. Колмогоров Г.Л. Динамическая реакция дорожной одежды на действие движущейся нагрузки / Г.Л. Колмогоров, В.И. Кычкин, И.А. Есипенко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2015. - № 5.
11. Апестин В.К. О расхождении проектных и нормативных межремонтных сроков службы дорожных одежд / В.К. Апестин и др. // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2011. - № 1. - С. 18.
12. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника / Под ред. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1989. - 287 с.
13. Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог / В.М. Сиденко, С.И. Михович. - М.: Транспорт, 1976. - 288 с.
14. Краткий автомобильный справочник - М.: Транспорт, 1983. - 220 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Larina, T.A. Metod ocenki kinetiki iznosa asfal'tobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog [Method for assessing the kinetics of wear of asphalt concrete road surfaces] / T.A. Larina, N.R. Zubarev // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. [Car. Road. Infrastructure.] - 2019. - № 1 (19). - P. 5. [in Russian]
2. Vasil'ev, A.Ju. Izuchenie vlijaniya shipovannyh shin na iznos dorozhnogo pokrytija [Studying the effect of studded tires on road surface wear] / A.Ju. Vasil'ev, L.V. Spiridonova // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. [Car. Road. Infrastructure.] - 2019. - № 1 (19). - P. 15. [in Russian]
3. Kaljonova, E.V. Sravnitel'naja ocenka iznosa asfal'tobetonnyh pokrytij [Comparative assessment of wear of asphalt concrete pavements] / E.V. Kaljonova, S.V. Lugov // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli [Science and technology in the road industry]. - 2014. - № 2 (68). - P. 23-25. [in Russian]
4. Pileckij, M.Je. Vlijanie transportnoj nagruzki na kachestvo remontnyh rabot dorozhnyh pokrytij nezhestkogo tipa s primeneniem strujno-in'ekcionnogo metoda [Influence of traffic load on the quality of repair work of non-rigid road surfaces using the jet injection method] / M.Je. Pileckij, K.A. Andrianov, A.F. Zubkov et al. // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and construction]. - M., 2019. №1. P. 115-121. [in Russian]
5. Aleksikov S.V. Raschet plasticheskikh deformacij dorozhnogo pokrytija ot nagruzok gruzovogo transporta [Calculation of plastic deformations of the road surface from the loads of freight transport] / S.V. Aleksikov et al. // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. - 2018. - Vol. 54. - № 73. [in Russian]
6. Jushkov B.S. Vlijanie nagruzok ot transportnyh sredstv na avtomobil'nyh dorogah [Impact of loads from vehicles on highways] / B.S. Jushkov, A.S. Sergeev, R.I. Gabdulhaev // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika [Actual directions of scientific research in the XXI century: theory and practice]. - 2015. - Vol. 3. - № 8-3. - P. 104-108. [in Russian]
7. Vasil'ev, Ju.Je. Issledovanie ustojchivosti dorozhno-stroitel'nyh materialov k iznosnomu koleeobrazovaniju v uslovijah, priblizhennyh k jekspluatacionnym [Investigation of the resistance of road building materials to wear rutting in conditions close to operational] / Ju.Je. Vasil'ev, A.V. Ivachev, I.S. Bratishhev // Internet-zhurnal Naukovedenie [Online Journal of Science]. - 2014. - № 5 (24). - P. 20. [in Russian]
8. Mel'nikova, I.S. Modelirovanie vozdeystviya temperatury i transportnyh nagruzok na vozniknovenie i razvitie treshhin v asfal'tobetonnyh dorozhnyh pokrytijah [Modeling the effect of temperature and traffic loads on the occurrence and development of cracks in asphalt concrete road surfaces] / I.S. Mel'nikova // Nauka i tehnika [Science and technology]. - Minsk, 2012. - № 4. - P. 44-52. [in Russian]
9. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд [Design of non-rigid road pavements]. Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozhajstva Ministerstva transporta RF. - M.: Transport, 2001. - 93 p. [in Russian]
10. Kolmogorov G.L. Dinamicheskaja reakcija dorozhnoj odezhdy na dejstvie dvizhushhejsja nagruzki [Dynamic reaction of road pavement to a moving load] / G.L. Kolmogorov, V.I. Kychkin, I.A. Esipenko // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij [Structural mechanics of engineering structures and structures]. - 2015. - № 5. [in Russian]
11. Apestin V.K. O rashozhdenii proektnykh i normativnyh mezhremontnyh rokov sluzhby dorozhnyh odezhd [On the discrepancy between the design and standard overhaul life of road pavements] / V.K. Apestin et al. // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli [Science and technology in the road industry]. - 2011. - № 1. - P. 18. [in Russian]
12. Remont i sodержanie avtomobil'nyh dorog: Spravochnik inzhenera-dorozhnika [Road Repair and Maintenance: A Handbook of a Road Engineer] / ed. A.P. Vasil'eva. - M.: Transport, 1989. - 287 p. [in Russian]
13. Sidenko V.M. Jekspluatacija avtomobil'nyh dorog [Road maintenance] / V.M. Sidenko, S.I. Mihovich. - M.: Transport, 1976. - 288 p. [in Russian]
14. Kratkij avtomobil'nyj spravocnik [Brief automotive reference book]. - M.: Transport, 1983. - 220 p. [in Russian]