

УДК 625.7/.8

*ЯРМОЛИНСКИЙ ВЛАДИМИР АППОЛИНАРЬЕВИЧ, докт. техн. наук,  
профессор,*

*appolonow.volodya@yandex.ru*

*Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет,  
125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64,*

*КАМЕНЧУКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, канд. техн. наук,  
aleksey\_k-al@mail.ru*

*Тихоокеанский государственный университет,  
680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136*

### **ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА В РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД**

В статье рассмотрены вопросы оценки изменения прочности дорожных одежд автомобильных дорог южной части Дальнего Востока. Представлены материалы полевых испытаний и анализ динамики уменьшения прочности при постепенном увеличении нагрузки. Сопоставлены данные практического и теоретического эксперимента для расчетной и фактической влажности слоев дорожной конструкции. Рассмотрены причины и тенденции изменения прочности слоев основания.

**Ключевые слова:** дорожная одежда; прочность; влажность; транспортно-эксплуатационные качества.

*VLADIMIR A. YARMOLINSKII, DSc, Professor,*

*appolonow.volodya@yandex.ru*

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University,  
64, Leningradskii Ave., 125319, Moscow, Russia,*

*ALEKSEI V. KAMENCHUKOV, PhD,  
aleksey\_k-al@mail.ru*

*Pacific National University,*

*136, Tikhookeanskaya Str., 680035, Khabarovsk, Russia*

### **STRENGTH AND DYNAMICS OF ROAD PAVEMENTS IN THE FAR EAST SOUTH AREA**

The article presents the strength assessment of the road pavements in the Far East southern area, caused by seasonal fluctuations in humidity of subgrade soil and disperse layers of the road base. The results of field tests and the strength analysis are presented under the conditions of gradually increasing load. A comparison of experimental and theoretical results is given for the estimated and actual humidity contents in the pavement layers. Causalities and trends of strength changes are described for the pavement layers. The research results can be used to modify the models of roads pavements with a view to improve their reliability.

**Keywords:** road pavement; durability; humidity; transport and functional performance; service life.

Среди комплекса факторов, обуславливающих состояние эксплуатируемых автомобильных дорог, специалисты выделяют три группы: особенности проектирования и строительства, природно-климатические условия, особенности содержания и ремонта. Анализ степени влияния этих факторов свидетельствует, что на изменение транспортно-эксплуатационных показателей в течение срока дорожных одежд автомобильных дорог районов глубокого сезонного промерзания и избыточного увлажнения грунтов наиболее существенное воздействие оказывают природно-климатические условия [1].

Автомобильные дороги южной части Дальнего Востока в процессе эксплуатации подвергаются неблагоприятному влиянию атмосферных и природно-климатических факторов: избыточное увлажнение, высокая солнечная радиация, глубокое сезонное промерзание земляного полотна, неравномерное оттаивание дорожной конструкции в весенний период. Это приводит к дестабилизации системы «рабочий слой земляного полотна – дорожная одежда», нарушению работы водно-теплого режима земляного полотна и снижению прочностных характеристик конструктивных слоев дорожной одежды. В результате межремонтный срок службы автомобильных дорог снижается.

Проведенные исследования [2–4] показали, что процесс изменения плотности-влажности грунта земляного полотна в условиях южной и центральной частей Дальнего Востока ориентирован на четыре основных периода: набухания осенью, пучения зимой, осадки грунта при оттаивании весной и усадки весной и летом.

Исследование прочностных характеристик проводилось на сети региональных и межмуниципальных автомобильных дорог южной части Дальнего Востока.

Работы проводились в два этапа:

– на первом этапе была осуществлена комплексная оценка транспортно-эксплуатационных качеств (ТЭК) сети автомобильных дорог рассматриваемого региона;

– на втором этапе проведена оценка динамики изменения прочности дорожных одежд.

С 2010 по 2014 гг. осуществлялся сбор и анализ материалов по оценке ТЭК сети дорог региона с позиции обеспечения требуемого запаса прочности (рис. 1). В результате были установлены зависимости между балльной оценкой качества покрытия и его прочностью [5] и разработана опытная методика оценки качества работ по ремонту дорог с учетом эксплуатационного и экономического факторов [6].

Проектирование и расчет дорожных одежд производились по методике, изложенной в ОДН 218.046–01. Для расчетного состояния дорожной конструкции были выполнены исследования динамики изменения прочности дисперсных грунтов (в зависимости от их влажности), которые показали, что модуль упругости материалов изменяется в пределах от 20 до 110 МПа [7].

С целью установления теоретических изменений прочности дорожных одежд, непосредственно зависящих от влажности основания, выполнен расчет опытной конструкции для расчетной ( $0,65 W_T$ ) и предельной влажности слоев основания дорожной одежды ( $0,85 W_T$ ), характерной для южной части Дальнего Востока (табл. 1).

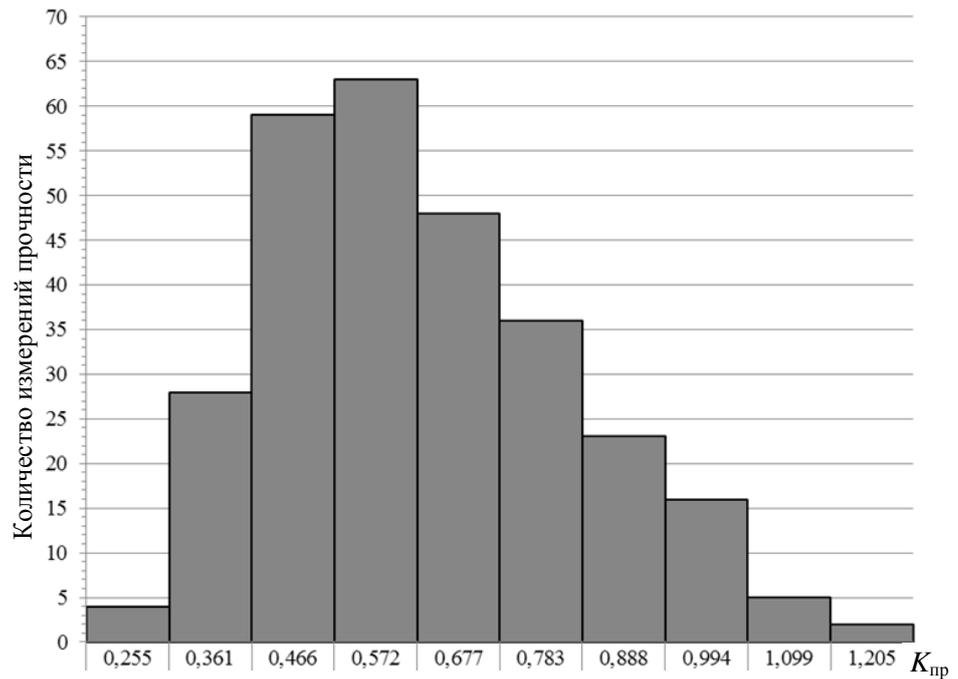


Рис. 1. Распределение коэффициента запаса прочности на автомобильных дорогах в южной части Дальнего Востока в расчётный период

Таблица 1

**Изменения прочности дорожных одежд (теоретические)**

Материал слоя	Толщина слоя $h$ , см	Расчетный модуль упругости, МПа, в зависимости от влажности	
		0,65 $W_T$	0,85 $W_T$
Асфальтобетон плотный на БНД 90/130	4	304	240
Асфальтобетон пористый на БНД 90/130	8	260	210
Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом 8 %	26	210,8	161,2
Песок средней крупности	40	88,8	64,8
Супесь пылеватая	–		
Требуемый модуль упругости, МПа		225	
Коэффициент прочности		1,351	1,067
Требуемый коэффициент прочности		1,17	

Фактические испытания прочности дорожных одежд проводились в расчётный период на региональных и межмуниципальных автомобильных дорогах южной части Дальнего Востока с асфальтобетонным покрытием. При проведении натурных испытаний прочности дорожных одежд модуль упругости определялся методом статического нагружения круглым жестким штампом диаметром 300 мм.

Прогиб вычислялся по формуле

$$S = S_m \frac{h_p}{h_{hi}}, \quad (1)$$

где  $S$  – истинный прогиб, мм;  $S_m$  – показатель индикатора, мм;  $h_p$  – расстояние по горизонтали от центра вращения стрелы до конца измерительного щупа м;  $h_{hi}$  – расстояние по горизонтали от центра вращения стрелы до точки измерения индикатора, м.

Модуль упругости определялся на основе первичного и вторичного нагружения по усредненному положению линии давление – прогиб (рис. 2) с помощью полинома второй степени по уравнению

$$S = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \sigma_0 + \alpha_2 \cdot \sigma_0^2, \quad (2)$$

где  $S$  – прогиб, мм;  $\sigma_0$  – среднее давление под штампом, МН/м<sup>2</sup>;  $\alpha_0$  – коэффициент полинома второй степени, мм;  $\alpha_1$  – коэффициент полинома второй степени, мм/(МН/м<sup>2</sup>);  $\alpha_2$  – коэффициент полинома второй степени, мм/(МН<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>).

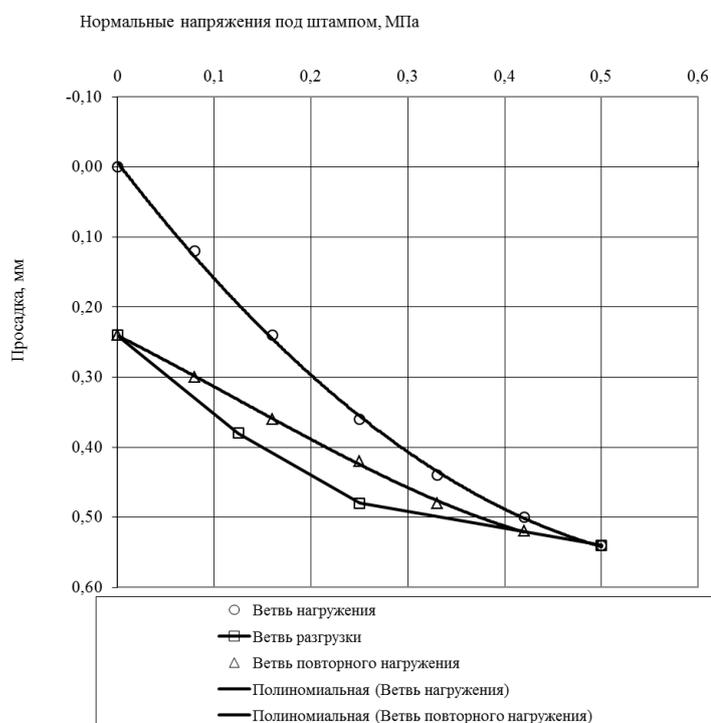


Рис. 2. График зависимости прогиба  $S$  от напряжения под штампом  $P$  для различных условий нагружения (для одного испытания)

Коэффициенты уравнения (2) находились методом наименьших квадратов.

Кривая первого нагружения характеризует модуль деформации конструкции дорожной одежды, второго – модуль упругости, который определяется по формуле

$$E = 1,5 \cdot r \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \sigma_{0\max}}, \quad (3)$$

где  $r$  – радиус штампа, мм;  $\sigma_{0\max}$  – максимальное давление под штампом, МН/м<sup>2</sup>.

Кроме модуля упругости на каждом участке определялась фактическая влажность земляного полотна на глубине 0,50 м под кромкой проезжей части (на обочине) с целью установления фактической взаимосвязи прочности и влажности.

Дорожные одежды были представлены следующими конструктивными слоями:

– дорога № 1: покрытие из плотного мелкозернистого асфальтобетона  $h = 5$  см; верхний слой основания из пористого крупнозернистого асфальтобетона  $h = 7$  см; нижний слой основания ЩГПС, обработанный битумом,  $h = 20$  см; дополнительный слой основания – щебеночная смесь С-6  $h = 38$  см; земляное полотно – супесь пылеватая;

– дорога № 2: покрытие из плотного мелкозернистого асфальтобетона  $h = 5$  см; верхний слой основания из пористого крупнозернистого асфальтобетона  $h = 8$  см; нижний слой основания из ПГС, обработанный битумом,  $h = 18$  см; дополнительный слой основания – щебеночная смесь С-6  $h = 36$  см; земляное полотно – супесь пылеватая.

В расчетный период конструкция дорожной одежды должна обеспечивать требуемый запас прочности, который характеризуется коэффициентом запаса прочности и составляет для дорог III категории 1,17 при заданной надежности, равной 0,95.

Результаты сопоставления данных полевых исследований с экспериментальными расчетами приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты полевых и экспериментальных исследований

Наименование характеристики	Номер испытания и показатели				
	1	2	3	4	5
Дорога № 1					
Влажность в долях от $W_t$	0,62	0,75	0,75	0,80	0,80
Модуль деформации, МПа	203,4	152,9	102,6	76,5	99,2
Модуль упругости, МПа:					
	фактический	254,3	207,6	203,5	171,9
расчетный	332	228	228	206	206
Коэффициент прочности:					
	фактический	1,272	1,038	1,018	0,860
расчетный	1,660	1,140	1,140	1,030	1,030
Дефекты покрытия	Поперечные и продольные трещины, сетка трещин, колея				
Состояние покрытия, балл	3,7	3,0	3,2	2,5	2,5

Окончание табл. 2

Наименование характеристики	Номер испытания и показатели				
	1	2	3	4	5
Дорога № 2					
Влажность в долях от $W_T$	0,72	0,72	0,72	0,80	0,80
Модуль деформации, МПа	61,4	67,7	65,2	94,6	144,4
Модуль упругости, МПа:					
фактический	217,8	220,8	234,7	154,9	222,3
расчетный	216	216	216	192	192
Коэффициент прочности:					
фактический	1,089	1,104	1,174	0,775	1,112
расчетный	1,080	1,080	1,080	0,960	0,960
Дефекты покрытия	Поперечные и продольные трещины, сетка трещин, колея				
Состояние покрытия, балл	3,2	3,2	3,5	3,0	3,0

Анализ проведенных исследований показал, что теоретические (расчетные) значения в большинстве случаев не совпадают с фактическими значениями прочности.

В целом, фактический модуль упругости дорожной одежды в расчетный период не позволяет обеспечить требуемый коэффициент прочности на региональных и межмуниципальных дорогах южной части Дальнего Востока.

Следует отметить, что разовые измерения прочности не позволяют в целом оценить динамику изменений прочности, т. к. только пространственной привязки недостаточно. Для оценки полной картины динамических изменений прочности дорожных одежд в зависимости от качества конструктивных слоев и влажности грунтов основания необходимо проводить систематические измерения в течение всего года (каждый месяц) на протяжении 2–3 лет.

Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы:

– существующая методика проектирования дорожных одежд позволяет не в полной мере учесть особенности работы конструкции в расчетный период весенней распутицы в районах с избыточным сезонным увлажнением и глубоким промерзанием грунтов;

– при оценке прочности дорожной одежды не учитывается степень деформации и целостности структуры ее конструктивных слоев, в связи с этим весьма затруднительно достоверно оценивать деформации вязко-пластичной модели в бесконечном полупространстве.

– требуется установить четкие взаимосвязи между влажностью, прочностью и целостностью структуры конструктивных слоев дорожной одежды, чтобы повысить качество теоретического обоснования проектных решений и продлить срок службы дорожных одежд автомобильных дорог рассматриваемого региона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефименко, С.В. Учёт особенностей природно-климатических условий при дорожно-климатическом районировании территории Западной Сибири / С.В. Ефименко, М.В. Бадина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 2. – С. 204–213.
2. Ярмолинский, В.А. Особенности расчета водно-теплого режима земляного полотна автомобильных дорог Дальнего Востока в условиях глубокого сезонного промерзания / В.А. Ярмолинский // Транспортное строительство. – 2009. – № 2. – С. 18–20.
3. Ярмолинский, А.И. Эффективность ремонта автомобильных дорог Хабаровского края / А.И. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования : труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции: в 3 т. / под ред. Б.Е. Дынькина, А.Ф. Серенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – Т. 1. – С. 176–181.
4. Каменчуков, А.В. Анализ соответствия расчетной модели дорожной одежды фактическим условиям ее работы / А.В. Каменчуков, В.В. Лопашук, А.Е. Казаринов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов / под ред. П.А. Пегина. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – № 9. – С. 70–76.
5. Ярмолинский, А.И. Проблемы повышения эффективности ремонта автомобильных дорог Хабаровского края / А.И. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Транспортное строительство. – 2012. – № 9. – С. 4–7.
6. Ярмолинский, В.А. Разработка методики выбора эффективных методов ремонтных работ в зависимости от их стоимости и фактического транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия / В.А. Ярмолинский, А.В. Каменчуков // Транспортное строительство. – 2014. – № 8. – С. 23–26.
7. Каменчуков, А.В. Оценка надёжности работы нежестких дорожных одежд / А.В. Каменчуков // Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог : сб. науч. тр. Четвертого Всероссийского дорожного конгресса. – М. : МАДИ, 2015. – С. 127–131.

## REFERENCES

1. Efimenko S.V., Badina M.V. Uchet osobennosti prirodno-klimaticheskikh uslovii pri dorozhno-klimaticheskom raionirovanii territorii zapadnoi Sibiri [Road-building climatic zoning in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 2. Pp. 204–213. (rus)
2. Yarmolinskiy V.A. Osobennosti rascheta vodno-teplovogo rezhima zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog Dal'nego Vostoka v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniya [Water-thermal mode analysis of motorway subgrade in seasonal frost conditions in the Far East]. *Transport Construction*. 2009. No. 2. Pp. 18–20. (rus)
3. Yarmolinskiy A.I., Kamenchukov A.V. Effektivnost` remonta avtomobil'nykh dorog Habarovskogo kraia [The road repair efficiency in Khabarovsk Krai]. *Proc. All-Rus. Sci. Conf.* Khabarovsk: FESTU Publ., 2012. V. 1. Pp. 176–181. (rus)
4. Kamenchukov A.V., Lopashka V.V., Kazarinov A.E. Analiz sootvetstviya raschetnoy modeli dorozhnoy odezhdy fakticheskim usloviyam ee raboty [Analysis of pavement conformity design model to actual conditions of its operation]. *Dal'nii Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya: mezhdunarodnyi sbornik nauchnykh trudov*. Khabarovsk: PNU Publ., 2009. No. 9. Pp. 70–76. (rus)
5. Yarmolinskiy A.I., Kamenchukov A.V. Problemy povysheniya effektivnosti remonta avtomobil'nykh dorog Habarovskogo kraia [Problems of efficiency increasing of highway repair in Khabarovsk Krai]. *Transport Construction*. 2012. No. 9. Pp. 4–7. (rus)
6. Yarmolinskiy A.I., Kamenchukov A.V. Razrabotka metodiki vybora effektivnykh metodov remontnykh rabot v zavisimosti ot ikh stoimosti i fakticheskogo transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya dorozhnogo pokrytiya [Efficient repair methods depending on costs and actual state of pavements]. *Transport Construction*. 2014. No. 8. Pp. 23–26. (rus)
7. Kamenchukov A.V. Otsenka nadiozhnosti raboty nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Assessment of performance reliability of flexible pavements]. *Proc. 4th All-Rus. Cong. 'Prospect Technologies in Construction and Servicing of Roads'*. Moscow: MADI Publ., 2015. Pp. 127–131. (rus)