

УДК 625.711.84:69

В.И. Жабин¹, М.А. Мельницкий¹, О.В. Герасимов²

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²Дорожное агентство «Архангельскавтодор»

Жабин Вячеслав Иванович родился в 1940 г., окончил в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного транспорта Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 печатных работ в области совершенствования сухопутного транспорта леса.

E-mail: v.zhabin@narfu.ru



Мельницкий Максим Андреевич родился в 1987 г., окончил в 2012 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры промышленного транспорта САФУ.

E-mail: maksim.melnitskij@yandex.ru



Герасимов Олег Валерьевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, руководитель Центра управления движением ГКУ Архангельской области «Дорожное агентство «Архангельскавтодор».

E-mail: olger@ador.ru



ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕГРАВИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОДОРОГ

Приведены результаты обследования опытного строительства участка дороги с нефтегравийным покрытием, проведена статистико-математическая обработка результатов обследования с определением эмпирических параметров взаимозависимости прочности и ровности.

Ключевые слова: нефтегравийное покрытие, прочность, ровность покрытия.

В лесозаготовительном процессе строительство лесовозных дорог имеет особое значение. Для обеспечения промышленных мощностей лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий требуется постоянное воспроизводство старых и строительство новых участков лесовозных дорог, которые прокладываются во все более удаленные лесные массивы.

Недостаточное финансирование работ по строительству, содержанию и ремонту автомобильных дорог приводит к применению в их конструкциях низкокачественных дорожно-строительных материалов, что снижает срок службы дорожной одежды. Поэтому использование современных материалов,

©Жабин В.И., Мельницкий М.А., Герасимов О.В., 2013

которые могли бы увеличить межремонтные сроки службы дорожной одежды, а также улучшить технико-эксплуатационные параметры дорог без значительного роста себестоимости производства работ, приобретает важное значение. Таким материалом может быть российский аналог финского «нефтегравия» – рыхлосвязной органоминеральной смеси (РОС), которая представляет собой смесь каменного материала, органического вяжущего и поверхностно-активных добавок [3].

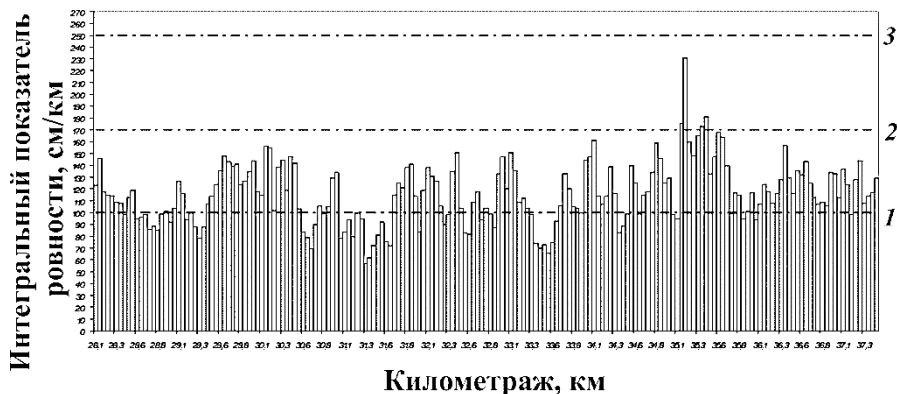
Первые опыты по внедрению в строительство дорог с низкой интенсивностью нового для Архангельской области материала РОС были предприняты в 2000 г. по инициативе Управления «Архангельскавтодор». В ходе эксперимента на участке автомобильной дороги Усть-Вага–Ядриха (IV техническая категория, интенсивность – 350 авт./сут с преобладанием транспортного потока тяжеловесных автопоездов) было построено 10 км нефтегравийного покрытия.

Цель данной работы – анализ технического состояния дорожного покрытия с помощью средств статистико-математической обработки результатов инструментальных измерений, проведенных дорожной лабораторией (модуль упругости, коэффициент ровности), с определением эмпирических параметров математической модели и их взаимозависимости.

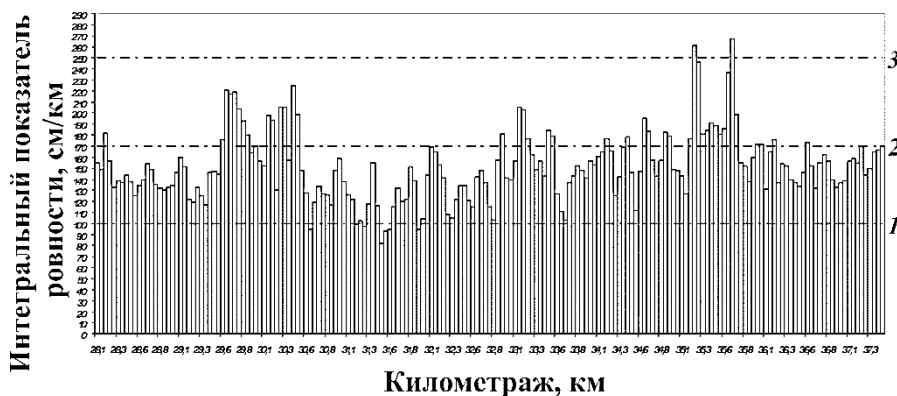
При анализе результатов обследования технического состояния покрытия дорожные службы, как правило, не проводят статистической обработки результатов измерений и определяют только тенденции развития процессов, происходящих в конструкции дорожной одежды, в основном максимумы, минимумы и средние значения выборки измеренных показателей. Этот подход к оценке технико-эксплуатационных свойств не отражает большинство количественных характеристик выборки, не обеспечивает достаточную достоверность результатов и не может служить основой для прогнозирования. В связи с этим нами предложено к перечисленным выше показателям дополнительно определять их дисперсию и среднеквадратическое отклонение. При этом, чтобы полностью охарактеризовать измеренные показатели, необходимо знать, какие численные значения они могут принимать и как часто эти значения появляются в общей массе измерений, для чего рекомендовано определять моду и медиану [4].

При оценке состояния ровности покрытия, измеренного толчкометром ТХК-2, установлено, что динамика изменения дисперсии, медиана и отклонение показателей ровности в 2005 г. увеличились соответственно в 1,43; 1,3 и 1,2 раза по сравнению с 2002 г. Это свидетельствует о том, что скорость изменения непосредственно самих скалярных величин интегрального показателя ровности превышает скорость увеличения распространения неровностей относительно определенного значения математического ожидания этого показателя.

На рис. 1 представлено изменение показателя ровности по годам.



a



б

Рис. 1. Толкограмма изменения коэффициента ровности: *a* – 2002 г., *б* – 2005 г.; 1 – отличное, 2 – хорошее, 3 – удовлетворительное состояние

На рис. 2 показано линейное распределение модуля упругости по длине опытного участка дороги на 2- и 5-й годы ее эксплуатации.

На 2-й год эксплуатации дорожного покрытия среднее значение модуля упругости составляет 224,7 МПа, т. е. покрытие достаточно хорошо работает в стадии упругой деформации. При этом дисперсия и размах соответственно 1171,8 и 143,2 МПа. Данный факт косвенно указывает на повышенный износ покрытия [1]. Поэтому особое внимание необходимо уделять соответствию толщин слоев дорожной одежды с проектом и с допусками строительных норм и правил. Сравнивая дисперсии 2002 и 2005 гг. можно сделать вывод, что за 3 года эксплуатации разброс значений модуля упругости относительно среднего значения уменьшается, как и скорость его изменения. При этом медианы значений модуля упругости изменяются от 218,6 до 179,2 МПа.

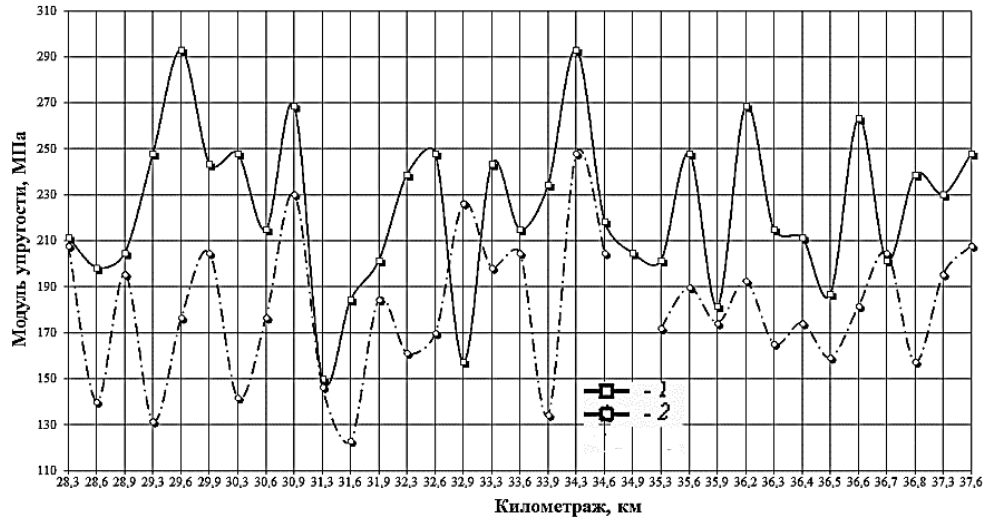


Рис. 2. Линейный график изменения модуля упругости: 1 – 2002 г., 2 – 2005 г.

На рис. 3 приведены гистограммы частот показателей (ровность и модуль упругости дорожного покрытия), измеренных на опытном участке дороги Усть-Вага–Ядриха.



Рис. 3. Гистограммы распределения модуля упругости (а) и показателя ровности (б): 1 – фактическая, 2 – теоретическая частота попадания



Известно, что в течение срока службы свойства и состояние дорожных одежд в значительной степени изменяются под воздействием автомобильных нагрузок и природных факторов. Необходимо знать общие закономерности изменения основных эксплуатационных качеств дорожных одежд и связь между ними.

Воспользовавшись одним из математических описаний закономерности и данными обследования опытного участка, попытаемся их адаптировать для нефтегравийных дорожных покрытий посредством определения эмпирических параметров. Из всего многообразия существующих математических описаний взаимозависимости ровности и прочности выбрана модель, предложенная Харьковским автодорожным институтом [2]:

$$S(t) = \frac{S(t_0)A_1}{\sqrt[d]{B_1} K_{\text{пр}}} \exp(C_1 t_1), \quad (1)$$

где $S(t)$ – показатель ровности покрытия на момент прогнозирования, см/км;

$S(t_0)$ – начальный показатель ровности покрытия, см/км;

d, A_1, B_1, C_1 – эмпирические коэффициенты;

$K_{\text{пр}}$ – коэффициент запаса прочности дорожной одежды;

t_1 – время эксплуатации дорожной одежды, лет.

По данным В.Ф. Демишкана [2], формула (1) адекватно описывает экспериментальные данные в соответствии с критерием Фишера для асфальтобетонных и чернощебеночных покрытий.

Выражение (1) является совокупностью показательных и экспоненциальных функций. Чтобы установить количественную зависимость связи, необходимо представить его в виде линейной зависимости, для этого выражение (1) изобразим в следующем виде:

$$S(t) = C \left(S(t_0)^{Z_1} K_{\text{пр}}^{Z_2} e^{t_1 Z_3} \right), \quad (2)$$

где C – постоянный параметр, $C = \frac{A_1}{\sqrt[d]{B_1}}$.

Прологарифмируем выражение (2):

$$\ln S(t) = \ln C \left(S(t_0)^{Z_1} K_{\text{пр}}^{Z_2} e^{t_1 Z_3} \right); \quad (3)$$

$$\ln S(t) = \ln C + Z_1 \ln S(t_0) + Z_2 \ln K_{\text{пр}} + Z_3 t_1 \ln e; \quad (4)$$

произведем замену переменных:

$$Y = \ln S(t); \quad K = \ln C; \quad X_1 = \ln S(t_0); \quad X_2 = \ln K_{\text{пр}}; \quad X_3 = t_1 \ln e = t_1 \cdot 1.$$

Тогда выражение (4) примет следующий вид:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = K + Z_1 X_1 + Z_2 X_2 + Z_3 X_3. \quad (5)$$

На основании полученного линейного уравнения (5) и коэффициентов корреляции можно судить об адекватности рассматриваемых параметров. Во всех случаях коэффициент корреляции (по модулю) больше критического значения 0,24 [4], поэтому с вероятностью 95 % может полагать, что между переменными существует корреляционная связь.



Рис. 4. Измеренные (1) и прогнозные (2) значения показателя ровности для различного состояния дорожного покрытия: 3 – отличное, 4 – хорошее, 5 – требующее ремонта

После того, как будут установлены связи между переменными уравнения (5), определим эмпирические параметры с помощью программы Microsoft Office Excel.

Таким образом, в ходе регрессионного анализа для уровня значимости 0,05 получены следующие эмпирические показатели:

$$K = \ln C = 0,858; Z_1 = 0,820; Z_2 = -0,053; Z_3 = 0,089; C = 2,358.$$

После обратных преобразований адаптированная математическая модель (2) примет вид

$$S(t) = 2,358 \left(S(t_0)^{0,82} K_{\text{пр}}^{-0,053} e^{0,089t_1} \right). \quad (6)$$

Результаты статистического расчета показывают, что коэффициент детерминации является умеренным и составляет 0,79. В связи с этим можно сделать вывод о том, что все исследуемые воздействующие факторы (начальная ровность, прочность и время) объясняют 79 % вариации выражения (6), остальные 21 % являются неопределенными и остаются неучтенными.

С помощью выражения (6) рассчитаем предсказанные (прогнозные) значения интегрального показателя ровности дорожного покрытия, результаты расчетов изобразим в графической форме (рис. 4).

Выводы

1. Для достижения правильности и объективности оценки измеренных показателей технического состояния дорожных покрытий (на примере обработки результатов обследований опытного участка дороги Усть-Вага–Ядриха) предложено дополнительно определять статистико-математические характеристики – дисперсию, среднеквадратическое отклонение, размах, моду и ме-

диану выборки. На основании их оценки можно сделать вывод о том, что применение материала РОС для повышения эксплуатационных характеристик автомобильных дорог эффективно.

2. При рассмотрении возможности применения РОС в покрытиях дорожных одежд на крупных лесосборочных магистралях необходимы дополнительные расчеты по определению требуемых толщин дорожных одежд применительно к нагрузкам от большегрузных лесовозных автопоездов.

3. В целях обеспечения высокого технического состояния дорожных покрытий из материала РОС эксплуатирующие организации должны уделять особое внимание соответствию технико-эксплуатационных характеристик (ровность, прочность и толщина дорожных одежд) нормативным значениям.

4. В границах исследуемого участка дороги с помощью корреляционно-регрессионного анализа результатов обследования состояния прочности и ровности дорожной конструкции получены эмпирические параметры математической модели их взаимозависимости. Для того, чтобы математически точно установить взаимозависимость прочности и ровности на других участках дорог с аналогичным материалом покрытия, необходимо изучить их структурные связи с более представительной выборкой. Полученная математическая модель может явиться основой методики определения перспективных значений интегральных коэффициентов ровности без их измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюля А.К. Работоспособность дорожных одежд. М.: Транспорт, 1968. 172 с.
2. Демичкан В.Ф. Усовершенствования управления состоянием автомобильных дорог при условиях ограниченных ресурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 2000. 17 с.
3. Дорожные нефтегравийные покрытия. Хельсинки: Изд-во «Neste», 1996. 179 с.
4. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. 288 с.

Поступила 20.03.12

V.I. Zhabin¹, M.A. Melnitsky¹, O.V. Gerasimov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Road Agency "Arkhangelskavtodor".

Empirical Evaluation of the Strength Characteristics of Oiled Gravel Road Surface

The article presents the survey results of the experimental construction of the road section with oiled gravel surface. Statistical and mathematical processing of the results was carried out; empirical parameters of interdependence of surface strength and evenness were determined.

Key words: oiled gravel surface, strength, surface evenness.