

ЛИТЕРАТУРА

1. **Правила** технической эксплуатации мелиоративных систем в Белорусской ССР. – Мн.: Ураджай, 1976. – С. 33–45.
2. **Михневич Э. И.** Устойчивость русел открытых водотоков. – Мн.: Ураджай, 1988. – 240 с.
3. **Печуров А. Ф.** Устойчивость русел рек и каналов. – Мн.: Ураджай, 1989. – 644 с.
4. **Справочник** по эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны РСФСР / Сост. Т. И. Даишев. – Л.: Агрометеоздат, 1987. – 263 с.

5. **Русецкий А. П.** Расчет магистральных каналов польдерных систем // Мелиорация переувлажненных земель: Тр. БелНИИМиВХ. – Мн.: Ураджай, 1976. – С. 33–45.
6. **Зайцев Н. И., Клавен А. Б.** Структура макротурбулентности руслового потока // Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – Т. 10, Кн. 2. – С. 230–237.
7. **Мирицхулава Ц. Е.** Основы физики и механики эрозии русел. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 304 с.

УДК 625

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ ЛИТВЫ

Инженеры ПЕТКЯВИЧИУС Э., ПЕТКЯВИЧИУС Р.

*Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса,
ЗАО «Лемминкайнен Лиетува» (Вильнюс, Литва)*

Сеть автомобильных дорог Литвы по состоянию на 01.01.2005 составляет 21345 км. Из них 1734 км – магистральные, 4873 км – краевые и 1473 км – районные дороги. Покрытие на большей части дорог (59 %) асфальтобетонное. Опыт эксплуатации подобных дорог свидетельствует о сравнительно небольшом сроке их службы. Зимой, осенью и весной при неблагоприятных погодных условиях, а летом при высокой температуре покрытие становится вязким, появляются колеи, волны, сдвиги и другие дефекты, которые со временем становятся более интенсивными, а площади поврежденных участков увеличиваются. Если вовремя не устранить дефекты, то на этих участках уменьшается скорость транспортных средств, ухудшаются условия и безопасность движения. Проблемы ухода за дорожными покрытиями и их ремонта тесно связаны с увеличением числа тяжеловесных и многоосных автомобилей. Дороги Литвы по ровности покрытия, прочности дорожных одежд и другим показателям не соответствуют таким транспортным нагрузкам.

Состояние асфальтобетонных покрытий и показатели качества автомобильных дорог ис-

следовались многократно [1–7], однако лишь немногие авторы ставили своей целью установить взаимосвязь между результатами ровности покрытия, определенными по международному индексу IRI Y_{IRI} и по 3- или 4-метровой рейке, а некоторые [1, 3, 4] пытались нормировать показатели состояния покрытия. В Литве из-за постоянного увеличения числа тяжеловесных многоосных автомобилей в потоке транспортных средств исследование состояния покрытий остается важнейшей проблемой.

В настоящей работе проанализированы показатели состояния асфальтобетонного покрытия автомагистралей и предложены нормативные значения этих показателей.

Методика и обработки результатов исследований. Исследования состояния дорожного покрытия проводились на участках автомагистрали Вильнюс–Каунас–Клайпеда (A1) и Вильнюс–Укмярге–Паневежис (A2). Была определена ровность асфальтобетонного покрытия, измеренная с помощью 3- или 4-метровой рейки (рис. 1, 2) и по международному индексу IRI Y_{IRI} с применением прибора DYNATEST 5051 RSP, а также колеиность покрытия, изме-

ренная 2-метровой рейкой. Результаты сравнены с допустимыми показателями качества покрытия.

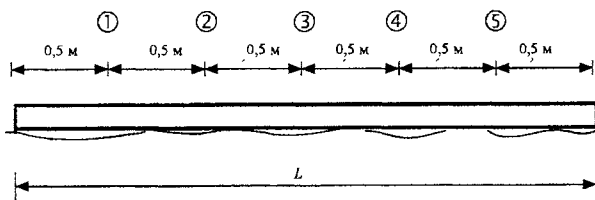


Рис. 1. Схема мест измерения ровности под 3- или 4-метровой рейкой: 1–5 – места измерения под рейкой; L – длина рейки ($L = 3$ или 4 м)

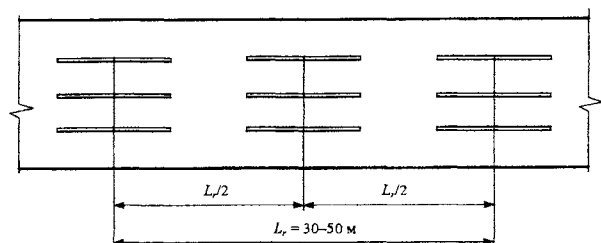


Рис. 2. Схема мест на полосе движения дороги, в которых была положена 3- или 4-метровая рейка (при измерении на участке длиной $L = 30-50$ м)

Данные экспериментальных исследований были обработаны методами математической статистики. Статистические характеристики рассчитаны по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где \bar{x} – среднее арифметическое (среднее значение исследуемого параметра); $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ – соответствующие 1, 2, ..., i -е, ..., n -е (последнее) значения исследуемого параметра; n – число значений исследуемого параметра;

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение исследуемого параметра;

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \%, \quad (3)$$

где V – коэффициент вариации исследуемого параметра.

Анализ исследований показал, что уровень разрушения покрытия дороги D проще и удобнее определить, пользуясь формулой [3]:

$$D = \left(S_d + S_{pl} + S_p + \sum_{i=1}^n l_i b_i \right) \cdot 100 / S, \quad (4)$$

где D – относительная площадь покрытия дороги, поврежденная дефектами (уровень разрушения), %; S – площадь исследуемого участка дороги, m^2 . Целесообразно исследовать покрытие участков крайней полосы (с наиболее тяжелым движением) длиной $L = 30-50$ м. При ширине полосы движения $b = 3,25$ м и длине участка $L = 40$ м $S = 130 m^2$, при $b = 3,50$ м, $L = 40$ м $S = 140 m^2$ и при $b = 3,75$ м, $L = 40$ м $S = 150 m^2$; S_d – площадь покрытия на исследуемом участке, поврежденная выбоинами и другими аналогичными дефектами, m^2 ; S_{pl} – площадь покрытия, поврежденная сетью трещин, m^2 ; S_p – площадь покрытия, поврежденная волнами, колеями, сдвигами и другими сдвиговыми и пластическими дефектами, m^2 ; l_i – длина отдельной i -й трещины, м; b_i – ширина полосы покрытия, утратившей прочность (несущую способность), с обеих сторон i -й трещины в зависимости от ширины трещины, определяемая по методике [8], м.

На каждом участке дороги по формуле (4) был определен уровень разрушения асфальтобетонного покрытия D . После обработки результатов были определены зависимости между уровнем разрушения асфальтобетонного покрытия D и уровнем его ровности Y , между сроком службы покрытий и дорожных одежд T и показателем D , показателями T и Y , показателями колеяности покрытия H_a, H_{max}, S и показателем D и др. Были проанализированы условия эксплуатации асфальтобетонного покрытия автомагистралей Литвы и важнейшие показатели качества асфальтобетонного покрытия.

Анализ и оценка показателей качества асфальтобетонного покрытия. Для достижения поставленной цели был проведен специальный эксперимент. На 103 элементарных участках крайней полосы движения длиной 30–50 м и шириной 3,75 м автомагистралей А1 и А2 были исследованы следующие показатели:

- ровность покрытия, измеряемая с 3-метровой рейкой: \bar{Y}_{max} и \bar{Y} , мм; Y , см/км;
- ровность покрытия, измеряемая с 4-метровой рейкой: \bar{Y}_{max} и \bar{Y} , мм; Y , см/км;
- степень разрушения покрытия (масштаб): показатели D, D_n, D_e, D_t , %;

• колейность покрытия: H_a, H_{\max}, S .

Характеристика исследованных показателей:

\bar{Y}_{\max} – среднее арифметическое самых больших значений ровности покрытия, измеренных на исследуемом участке 3- или 4-метровой рейкой, когда число исследований $n = 9$;

\bar{Y} – среднее арифметическое всех значений ровности покрытия, измеренных на исследуемом участке 3- или 4-метровой рейкой при $n = 45$ (3-метровой рейкой) и $n = 64$ (4-метровой рейкой);

D – уровень (масштаб) разрушения покрытия соответственно всего усталостного разрушения D_n , разрушения от эрозии D_e , разрушения от температурных трещин D_t , %;

H_a, H_{\max} – соответственно глубина средней (обобщенной) и самой большой колеи, мм;

S – площадь сечения колеи в асфальтобетонном покрытии, мм².

Для названных показателей автомагистралей А1 и А2 установлены следующие статистические характеристики: среднее арифметическое \bar{x} , среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент вариации V (табл. 1).

Таблица 1

Статистические характеристики показателей состояния покрытия автомагистралей Литвы

Показатель и единица измерения	Особенности измерения	Автомагистраль А2, $n = 43$			Автомагистрали А1 и А2, $n = 103$		
		\bar{x}	σ	$V, \%$	\bar{x}	σ	$V, \%$
$Y_{\max}, \text{мм}$	3-метровой рейкой	1,29	0,55	42,75	1,62	0,57	35,38
$Y, \text{мм}$		0,53	0,24	44,90	0,83	0,25	30,34
$Y, \text{см/км}$		346	73	21,19	388	68	17,44
$Y_{\max}, \text{мм}$	4-метровой рейкой	1,50	0,68	45,48	1,88	0,86	45,48
$Y, \text{мм}$		0,61	0,26	43,11	0,90	0,36	40,00
$Y, \text{м/км}$		3,61	0,86	23,83	4,12	0,82	19,88
$H_{\max}, \text{мм}$	Измерялась крайняя колея полосы движения	4,23	2,57	60,76	7,17	5,14	71,75
$H_a, \text{мм}$		1,96	1,08	54,80	3,46	2,55	73,78
$S, \text{мм}^2$		2237	1371	61,26	4590	3857	84,03
$H_{\max}, \text{мм}$	Измерялась внутренняя колея полосы движения	2,58	1,40	54,26	6,59	4,79	72,63
$H_a, \text{мм}$		1,92	1,40	73,09	3,23	2,30	71,28
$S, \text{мм}^2$		1962	1773	90,40	4023	3680	91,48
$D, \%$	Измерялись все разрушения крайней полосы движения дороги	11,68	15,27	130,74	9,06	11,56	127,58
$D_n, \%$		8,51	14,37	168,84	5,29	9,89	186,98
$D_e, \%$		2,14	5,91	275,71	2,52	5,50	218,45
$D_t, \%$		1,03	1,39	135,12	1,25	1,48	118,76

Результаты измерений свидетельствуют о незначительной разнице показателей качества асфальтобетонного покрытия дорог Вильнюс–Каунас–Клайпеда и Вильнюс–Укмярге–Паневе-

жис (табл. 1). На исследованных участках дороги Вильнюс–Каунас уровень разрушения D колебался от 0 до 14,01 %. Разрушения усталостные и из-за недостаточной прочности дорожной одежды составили 14,77 %, эрозии – 3,75 %, температурных трещин – 81,48 %. На исследованных участках автомагистрали Каунас–Клайпеда уровень разрушения D колебался от 0 до 39,78 %. Разрушения усталостные и из-за недостаточной прочности дорожной одежды составили 39,89 %, эрозии – 40,46 %, температурных трещин – 19,65 %. На исследованных участках автомагистрали А2 уровень разрушения D колебался от 0 до 61,27 %. Разрушения усталостные и из-за недостаточной прочности дорожной одежды составили 56,49 %, эрозии – 22,10, температурных трещин – 21,41 %. Анализ свидетельствует о том, что основным дорогам Литвы присущи следующие дефекты покрытия: разрушения из-за температурных трещин и усталостного напряжения, а также из-за недостаточной прочности дорожной одежды. Чаще всего результаты ровности покрытия главных дорог Литвы соответствуют нормальному закону Гаусса.

Обобщенная зависимость ровности асфальтобетонного покрытия автомагистралей А1 и А2, измеренной 3- и 4-метровой рейкой, представлена на рис. 3.

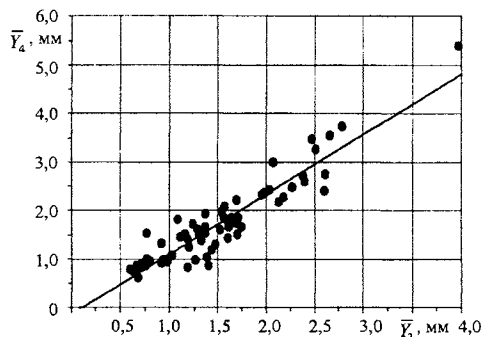


Рис. 3. Взаимосвязь между значениями ровности покрытия измеренных 3-метровой рейкой, \bar{Y}_3 , и 4-метровой рейкой, \bar{Y}_4 : $\bar{Y}_4 = -0,276 + 1,332 \bar{Y}_3$; $R = 0,933$

По результатам видно, что между исследуемыми параметрами существует тесная корреляционная связь (значение коэффициента корреляции $R = 0,93$).

Результаты, полученные в 1999–2001 гг. на основании исследований показателей ровности покрытия Y , уровня разрушений D и других показателей состояния, позволили установить

зависимости регрессии корреляции между показателями ровности покрытия Y и Y_{\max} , между показателями однородности ровности покрытия σ_y и $\sigma_{y_{\max}}$, между показателями ровности Y и Y_{IRI} , между показателями ровности Y_{\max} и Y_{IRI} , между показателями продолжительности срока

службы покрытия T и показателем ровности покрытия Y_{IRI} , между показателем уровня разрушения покрытия D и уровнем ровности Y_{IRI} (рис. 4–9). Значение коэффициента корреляции в установленных зависимостях составляло от $R = 0,73$ до $R = 0,96$.

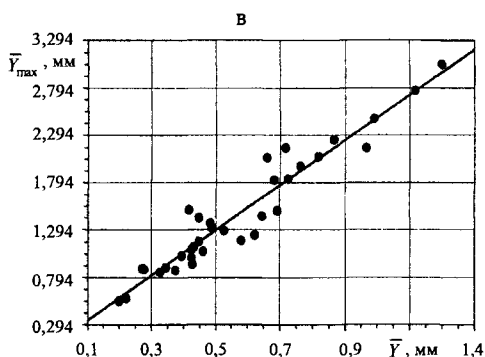
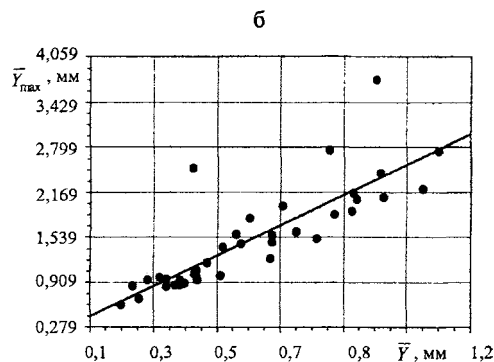
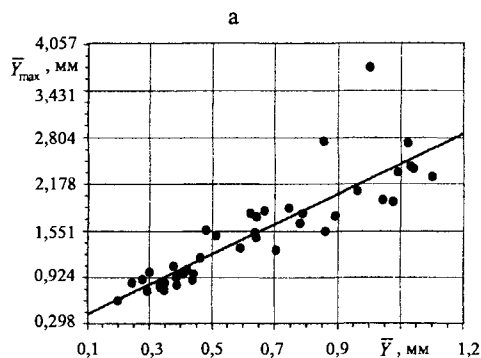


Рис. 4. Взаимосвязь средних арифметических самых больших и всех значений ровности покрытия Y_{\max} и \bar{Y} автомагистрали А2: а – $\bar{Y}_{\max} = 0,114 + 2,269 \bar{Y}$; $R = 0,876$ по данным 1999 г.; б – $\bar{Y}_{\max} = 0,074 + 2,428 \bar{Y}$; $R = 0,833$, 2000 г.; в – $\bar{Y}_{\max} = 0,072 + 2,291 \bar{Y}$; $R = 0,959$, 2001 г.

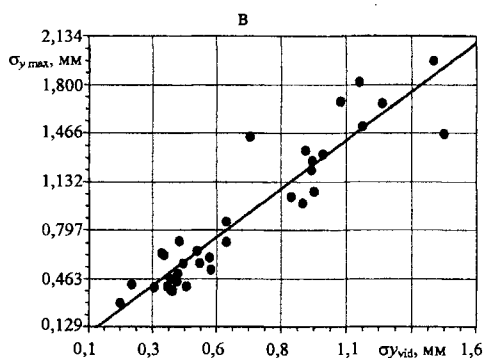
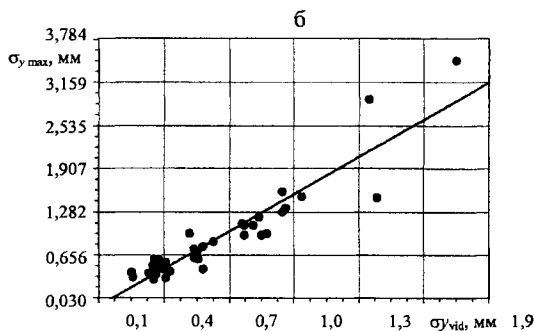
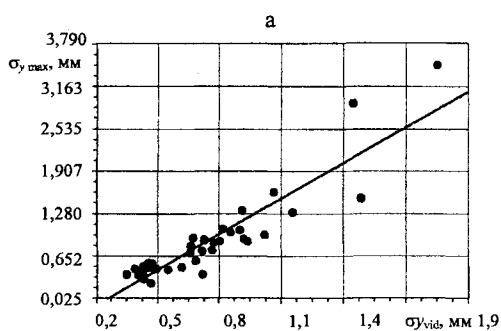


Рис. 5. Взаимосвязь среднеквадратических отклонений $\sigma_{y_{\max}}$ и σ_y самых больших и всех значений ровности покрытия автомагистрали А2: а – $\sigma_{y_{\max}} = -0,361 + 1,770 \sigma_{y_{\text{vid}}}$; $R = 0,915$ по данным 1999 г.; б – $\sigma_{y_{\max}} = -0,330 + 1,788 \sigma_{y_{\text{vid}}}$; $R = 0,929$, 2000 г.; в – $\sigma_{y_{\max}} = -0,066 + 1,3906 \sigma_{y_{\text{vid}}}$; $R = 0,932$, 2001 г.

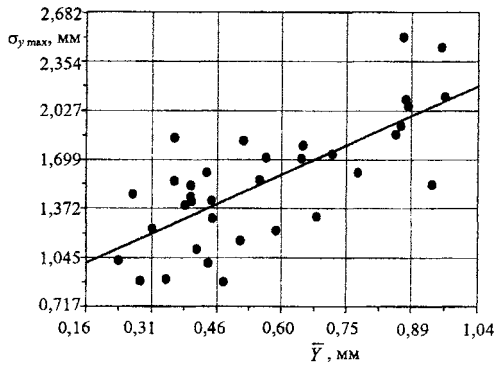


Рис. 6. Взаимосвязь средних арифметических \bar{Y} ровности по IRI Y_{IRI} и всех значений ровности покрытия автомагистрали А2 по данным 2000 г.: $Y_{IRI} = 0,789 + 1,345 \bar{Y}$, $R = 0,734$

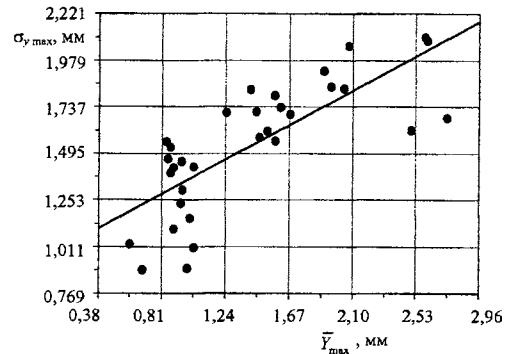


Рис. 7. Взаимосвязь средних арифметических \bar{Y}_{max} ровности по IRI Y_{IRI} и самых больших значений ровности покрытия автомагистрали А2 по данным 2000 г.: $Y_{IRI} = 0,949 + 0,416 \bar{Y}_{max}$; $R = 0,767$

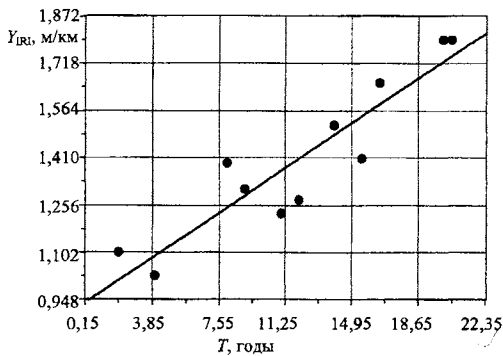


Рис. 8. Взаимосвязь значений ровности по IRI Y_{IRI} и продолжительности функционирования покрытия T автомагистрали А2 по данным 2000 г.: $Y_{IRI} = 0,931 + 0,040 \bar{Y}$; $R = 0,920$

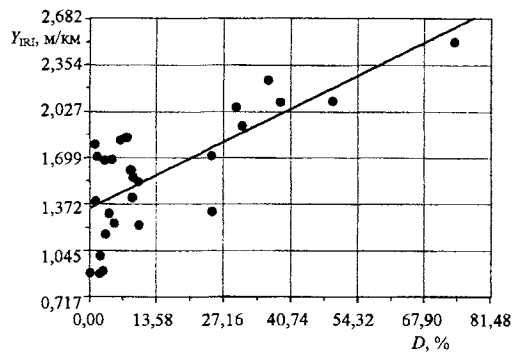


Рис. 9. Взаимосвязь значений ровности по IRI Y_{IRI} и уровня разрушения покрытия D автомагистрали А2 по данным 2000 г.: $Y_{IRI} = 1,343 + 0,017 \bar{Y}$; $R = 0,727$

Исследования, проведенные сотрудниками кафедры дорог Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса [1], показали, что с достижением коэффициентом прочности дорожной одежды K_n критического значения ($K_n = 1,0$) степень разрушения покрытия также достигает критической величины ($D = 16 \%$). Когда значение уровня разрушения становится критическим ($D = 16 \%$), продолжительность срока службы дорожных одежд автомагистралей T также достигает критической величины ($T = 8$ лет).

Данные Института транспорта и дорожных исследований [9] свидетельствуют о том, что с ухудшением ровности дорожного покрытия по IRI от $Y_{IRI} = 2,0$ м/км до $Y_{IRI} = 2,5$ м/км, транспортные расходы I_b , приходящиеся на пробег 1000 автомобилей на расстояние в 1 км, возрастают на 1,7 %, а с ухудшением ровности по-

крытия по IRI Y_{IRI} от $Y_{IRI} = 2,0$ м/км до $Y_{IRI} = 2,75$ м/км – увеличиваются на 2,5 %. Предлагается значение ровности асфальтобетонного покрытия автомагистралей по IRI $Y_{IRI} = 2,5$ м/км считать критерием для расчета продолжительности срока службы покрытия до среднего ремонта T_c , а значение ровности $Y_{IRI} = 2,75$ м/км применять в качестве критерия при определении продолжительности срока службы дорожной одежды до капитального ремонта T_k . При этом $T_c = 5$ лет, а $T_k = 8$ лет.

Исследования показателей колеиности H_{max} , H_a , S асфальтобетонного покрытия автомагистрали А2 и ровности покрытия по IRI Y_{IRI} , выявившие взаимосвязь этих параметров, позволили предложить нормативные значения показателей колеиности покрытия H_{max} , H_a , S (табл. 2).

Применение предлагаемых рациональных

значений показателей состояния покрытий и дорожных одежд автомагистралей позволит эффективнее планировать средства на ремонт покрытий и дорожных одежд.

Таблица 2

Предлагаемые нормативные значения параметров асфальтобетонного покрытия и дорожной одежды для автомагистралей Литвы

Показатель и единица	Нормативное значение
Ровность покрытия Y_{IRI} , м/км: до среднего ремонта	2,50
до капитального ремонта	2,75
Показатели колеейности покрытия: до среднего ремонта	
H_{max} , мм	6,0
H_a , мм	3,0
S , мм ²	3000
Продолжительность срока службы покрытия или дорожной одежды T , годы:	
до среднего ремонта T_c	5
до капитального ремонта T_k	8

ВЫВОДЫ

1. Между уровнем разрушения покрытия D и его ровностью Y существует тесная взаимосвязь, которая позволяет установить критические уровни разрушения покрытия автомагистралей: они равны 8 и 16 %. Показатель $D = 8\%$ рекомендуется в качестве критерия при оценке необходимости проведения среднего ремонта покрытия, а показатель $D = 16\%$ – в качестве критерия для определения срока капитального ремонта дорожной одежды.

2. Состояние покрытия и его эксплуатационные характеристики для большинства автомагистралей Литвы различаются незначительно. Результаты исследований в своем большинстве соответствуют нормальному закону распределения.

3. Для основных дорог Литвы характерны следующие дефекты покрытия: разрушения из-за температурных трещин и усталостного напряжения, а также из-за недостаточной прочно-

сти дорожной одежды. Это необходимо учитывать при организации работ по ремонту дорог.

4. Исследования показали, что между показателями качества покрытия Y и D , Y и Y_{IRI} существует заметная корреляционная связь (коэффициенты корреляции R в установленных зависимостях были от $R = 0,73$ до $R = 0,96$). На основе полученных результатов определены нормативные значения параметров состояния покрытий и дорожных одежд автомагистралей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sivilevičius H., Petkevičius K.** Regularities of Defect Development in the Asphalt Concrete Road Pavements. Journal of Civil Engineering and Management // Technika. – 2002. – Vol. VIII, № 3. – P. 206–213.
2. **Nosov V. P.** Road pavement destruction forecasting principles. Science and engineering in road building (Наука и техника в дорожной отрасли). – 2001. – № 2(17). – P. 24–27 (in Russian).
3. **Bennett C. R., Petersen W. D.** HDM-4. Vol. 5. A guide to Calibration and Adaptation. – PIARC, 1999. 198 p.
4. **Braga A., Čygas D.** Adaptation of pavement deterioration models to Lithuanian automobile roads. Journal of Civil Engineering and Management // Technika. – 2002. – Vol. VIII, № 3. – P. 214–220.
5. **Bakhrakh G. S.** Estimation of strengthening of flexible road pavements according to fatigue cracking criterion // Science and engineering in road building (Наука и техника в дорожной отрасли). – 1998. – № 2 (9). – P. 21–25 (in Russian).
6. **Kazanovskij V. D.** Rutting problem on roads with asphalt concrete pavement // Science and engineering in road building (Наука и техника в дорожной отрасли). – 2000. – № 2(13). – P. 3–4 (in Russian).
7. **Sayers M., Gillespie T., Queiroz C.** The International Road Roughness Experiment // World Bank Technical Paper. – Washington, 1986. – № 45.
8. **Bakaev A. V., Vizgalov E. V., Kriachov V. V.** On the unavoidability of the influence of various cracks in the paving on the value of elastic deflection of road paving // Transactions of GiprodorNII: Improvement of reliability of exploitation of motor roads (Труды ГипродорНИИ). – 1980. – 30th edition. – P. 81–88 (in Russian).
9. **Patašius J., Galkinienė V., Domatas A. et al** // Methods and system of management of the paving of motor roads. Research report (Методика и система управления покрытиями автомобильных дорог: Отчет об исследовательской работе). – Kaunas, 1997. – 66 p. (in Russian).