

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО- ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

IMPROVEMENT OF EVALUATION
METHODS FOR MOTOR ROADS'
TRANSPORT-OPERATION STATE

Ю.В. Буртыль,
начальник отдела РУП «Белорусский
дорожный инженерно-технический
центр», г. Минск, Беларусь
И.И. Леонович,
доктор технических наук, профессор
Белорусского национального техниче-
ского университета, г. Минск, Бела-
русь

Первостепенной задачей в дорожной отрасли является создание четкой системы оценки работоспособности автодороги на основании разработанных методов измерений и требований. В статье проводится анализ современных практических методов оценки транспортно-эксплуатационных параметров автомобильных дорог на основании данных диагностики и предлагается применение на практике полученных результатов при назначении ремонтных мероприятий.

The major objective of road industry is establishment of accurate system for evaluation of motor road efficiency based on existing methods of measurements and regulations. The article analyzes current practical methods used for evaluation of transport and operation parameters of motor roads, based on diagnostics findings. Practical application of obtained results for roads rehabilitation purposes is proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство автомобильных дорог в Республике Беларусь осуществляется в небольших объемах, и поэтому главной задачей дорожной отрасли является поддержание транспортно-эксплуатационного состояния (ТЭС) существующей сети на уровне, отвечающем современным требованиям [1]. Средства, направленные на проведение ремонтно-восстановительных мероприятий на сети автомобильных дорог (и в первую очередь с асфальтобетонным покрытием) протяженностью более 44 000 км, должны быть использованы с максимальным экономическим эффектом. Основанием для принятия реше-

ния по выбору стратегии ремонта являются результаты обследований и оценки транспортно-эксплуатационных параметров автодороги, выявление степени их несоответствия нормативным требованиям и планирование перспективной работы дорожных конструкций после выполнения назначенных ремонтных мероприятий.

Качественными показателями оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог являются результаты инструментальных измерений и визуальных обследований основных транспортно-эксплуатационных показателей (ТЭП): прочности дорожных конструкций, ровности покрытий, дефектности и повреждаемости дорожных одежд, морозного пучения и износостойкости.

Закрепленные нормативными документами методы измерений и расчетов являются результатом передовых научных исследований в области диагностики дорог. Для анализа возможности своевременного и оптимального принятия решений по поддержанию работоспособности дорожных одежд необходимо учесть особенности практического применения разработанных технологических схем и математических моделей. Проведение анализа существующих методик позволит обосновать необходимость совершенствования действующей системы оценки ТЭС автомобильных дорог и определить приоритетные направления ее дальнейшего развития.

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Ремонтные мероприятия назначаются по результатам проведения диагностики на участках дорог, имеющих одно или несколько несоответ-

ствий, выявленных одновременно. Технология и вид ремонтного мероприятия определяются степенью значимости параметра и возможностью назначенного ремонта устранить несоответствия по остальным показателям [2]. Первостепенным показателем, определяющим долговечность и работоспособность дорожных одежд, является прочность. Усиление конструкций дорожных одежд назначается на основании определения фактического состояния прочности и несущей способности участков дорог.

Прочность дорожной одежды в процессе эксплуатации характеризуется в основном модулем упругости дорожной конструкции. Измерения проводятся в условиях динамической (рис. 1) или статической нагрузки. Оценку прочности дорожной одежды выполняют по величине коэффициента прочности [3], определяемого по формуле (1)

$$K_{np} = \frac{E_p}{E_{тр}} \leq K_{норм} , \quad (1)$$

где K_{np} – коэффициент прочности;

E_p – расчетный модуль упругости дорожной одежды, МПа (2);

$E_{тр}$ – требуемый модуль упругости дорожной одежды, МПа (3);

$$E_p = \frac{G \cdot p \cdot D(1 - \mu^2)}{l_f} \cdot K , \quad (2)$$

где G – коэффициент, учитывающий характер передачи нагрузки на покрытие; так, при испытаниях жестким штампом принимать - 0,785; а с помощью гибкого штампа – 0,6;

p – удельное давление, МПа;

D – диаметр круга, эквивалентный отпечатку штампа, м;

μ – коэффициент Пуассона;

l_f – фактический (приведенный к расчетной нагрузке и температуре 20°C) упругий прогиб дорожной одежды, м;

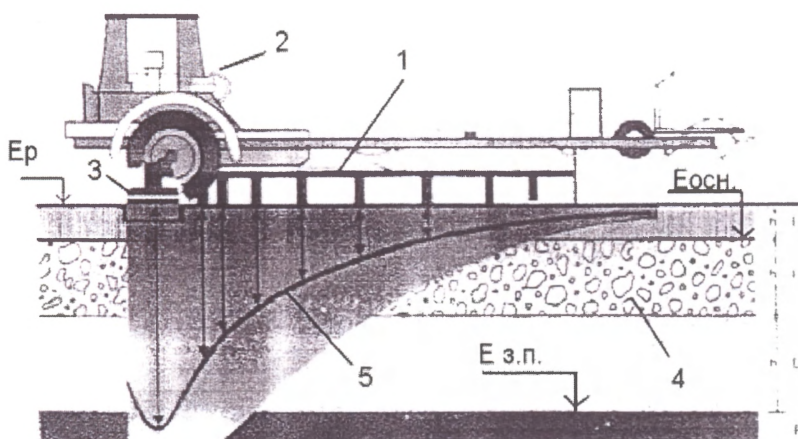
K – климатический коэффициент, учитывающий влажность грунта;

$K_{норм}$ – нормативное значение коэффициента

$$E_{тр} = a \cdot (\lg N - c) , \quad (3)$$

где N – количество расчетных автомобилей, проходящих по участку дороги за расчетный период, авт.;

a, c – эмпирические коэффициенты, принимаемые в зависимости от расчетной нагрузки: $a = 98,65$; $c = 3,05-3,55$.



1- геофоны, регистрирующие величину упругого прогиба;
2 - установка динамического нагружения; 3 - элемент нагружения (жесткий штамп); 4 - конструкция дорожной одежды;
5 - эпюра величины упругого прогиба дорожной одежды

Рисунок 1 - Схема измерения упругого прогиба установкой динамического нагружения

При проведении измерений статическими методами [4] с использованием различного рода прогибомеров фактический общий модуль упругости рассчитывается по формуле (4)

$$E_p = \frac{p \cdot D}{l_f} (1 - \mu^2) \cdot K . \quad (4)$$

Современные методы оценки прочности дорожных одежд применимы не только для всей конструкции, но и отдельно для слоев основания и земляного полотна. Для расчета прочностных характеристик конструктивных слоев дорожной одежды по результатам испытаний динамической нагрузкой необходимо фиксировать значения прогиба как в центре приложения нагрузки, так и в других точках чаши прогиба в момент из-

Модуль упругости земляного полотна определяется (5) как среднее арифметическое значение модулей упругости, рассчитанных по величинам прогибов, удаленных на расстояние от 0,9 до 2,4 м от центра нагрузки [5]

$$E_{з.п.} = \frac{\sum_{i=0,9-2,4}^{0,3} \frac{p \cdot R^2 (1 - m^2)}{r_i \cdot l_i}}{n}, \quad (5)$$

где R – радиус отпечатка колеса расчетной нагрузки, м;

r_i – расстояние от центра приложения нагрузки до точки измеренного прогиба, $r_i = (0,9 \dots 2,4)$, м;

l_i – величина прогиба, приведенного к расчетной температуре, удаленного от центра приложения нагрузки на расстояние r_i , м;

n – количество значений за одно измерение, шт.

Модуль упругости на поверхности основания дорожной одежды рассчитывается по формуле (6)

$$E_{осн} = \frac{1,21}{\lg(100 \cdot h)} \left[0,845 \cdot \frac{l_{0,3}}{l_f} + \frac{l_{0,6}}{l_f} \right] \cdot \left[E_p \cdot \left(1 - \frac{0,423 \cdot l_{0,3}}{l_f} + \frac{l_{0,6}}{l_f} \right) \right], \quad (6)$$

где h – толщина асфальтобетонного слоя покрытия, м;

$l_{0,3,0,6}$ – величина упругого прогиба, приведенного к расчетной нагрузке и температуре, на расстоянии 0,3 м и 0,6 м от центра приложения нагрузок соответственно, м.

Прогнозируемый модуль упругости дорожной конструкции определяется исходя из количества приложенных расчетных нагрузок и начального состояния дорожной одежды после проведения ремонта или завершения строительства (7).

$$E_i = 98,31 \cdot \{ \lg(\sum N - \sum N_T) - 3,96 \}, \quad (7)$$

где $\sum N_T$ – суммарное количество приложений расчетной нагрузки на рассчитываемый период, определяют по формуле (8), авт.;

$$\sum N_T = 365 \cdot N_1 \cdot \frac{q^T - 1}{q - 1}, \quad (8)$$

где q – коэффициент изменения интенсивности движения;

N_1 – суточная интенсивность движения расчетных нагрузок на текущий момент, авт./сут;

T – срок службы дорожной одежды, лет;

N – общее количество допустимых приложений расчетной нагрузки, определяют по формуле (9), авт.;

$$\sum N = 10^{\frac{E_p}{98,31} + 3,96}, \quad (9)$$

где E_p – расчетный модуль упругости на текущий момент, МПа.

На рисунке 2 представлены прогнозируемые значения модуля упругости

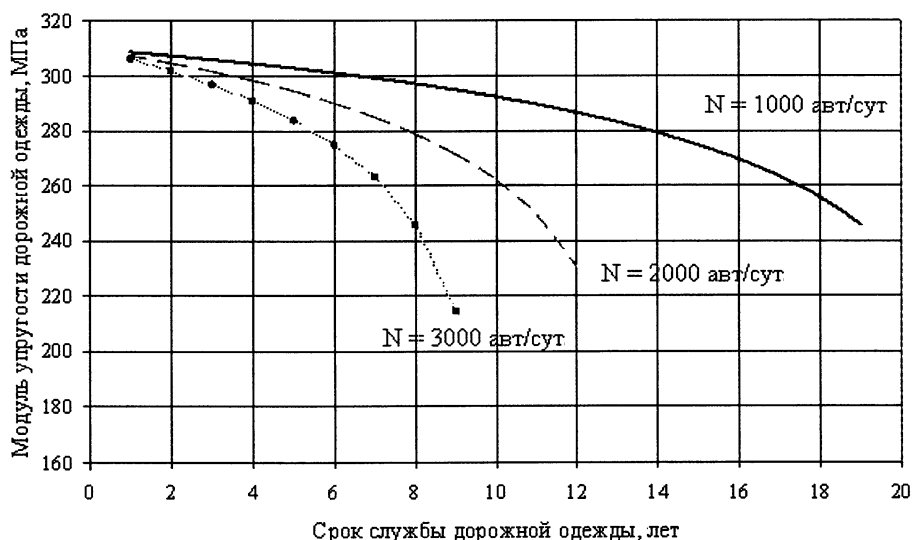


Рисунок 2 - Прогнозируемое изменение модуля упругости дорожной одежды для различной интенсивности движения расчетных автомобилей при начальном модуле $E=310$ МПа

при различных значениях интенсивности движения.

Необходимость усовершенствования методики оценки прочности дорожных одежд по данным натурных испытаний определяется рядом обстоятельств. Так, измерение упругого прогиба проводится в отдельных точках участка дороги через заданный интервал, установленный в нормативной литературе [6], что не позволяет с достаточной высокой вероятностью оценить прочностное состояние конструкции в конкретной точке, не кратной интервалу измерения. Значение упругого прогиба в одной или двух точках характеризует прочность на участке 100-150 метров. Возможно, что допускаемые погрешности в нескольких измерениях могут привести к неоправданному назначению ремонта на всем участке. Кроме того, проводимые испытания не отражают в полной мере прочностное состояние материалов в различных слоях дорожной одежды по некоторым установленным проектным критериям. При обработке полученных результатов нельзя рассчитать сопротивляемость связных материалов изгибу, а также величину допустимых касательных напряжений в несвязных слоях [7], требования к которым заложены при проектировании. Также существенно влияют на результаты измерений упругого прогиба такие показатели, как влажность подстилающих грунтов и температура покрытия. Даже при выборе в расчетах типичной схемы увлажнения разброс влажности грунта на участке дороги (рис. 3) может различаться в 2-3 раза [8]. Такая ситуация может привести к возникновению противоречий при оценке несущей способности и своевременном выборе наиболее

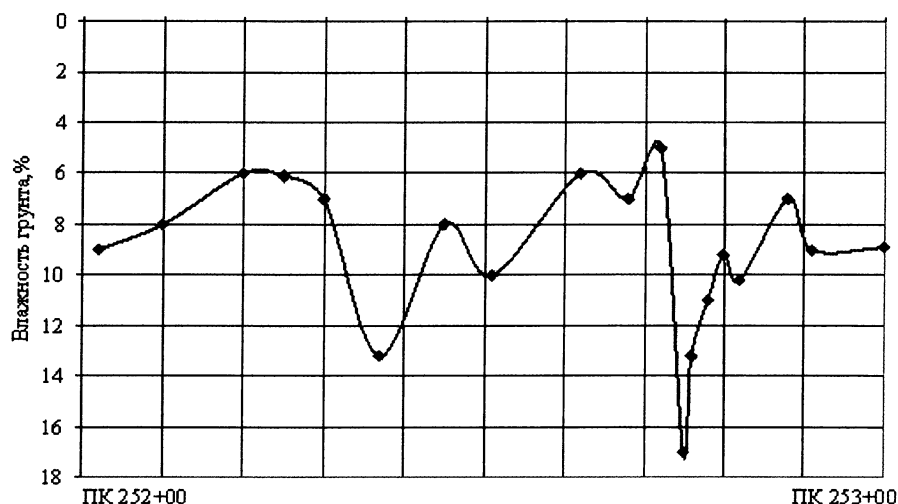
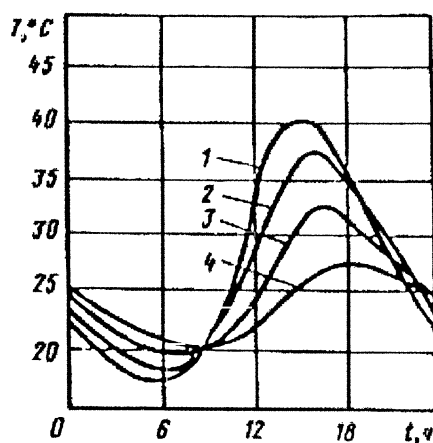


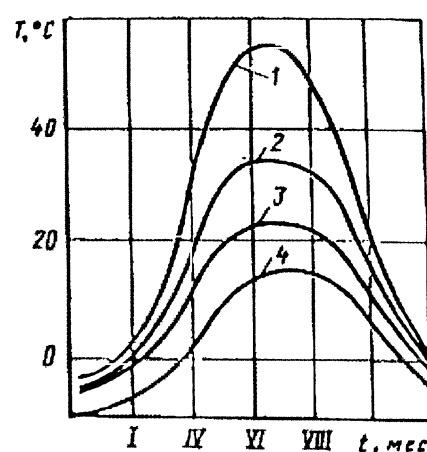
Рисунок 3 - Изменение влажности грунта земляного полотна на участке автомобильной дороги по данным Кулижникова А.М.

оптимальных стратегий ремонта.

Прочность асфальтобетона определяется внутренним сцеплением и углом внутреннего трения. Сцепление зависит в основном от вязкости битума, величина которой изменяется в зависимости от температуры и характеризует работоспособность асфальтобетона [9]. По данным А.В. Руденского, температура в покрытии может значительно колебаться (рис. 4), тем самым меняя прочностные свойства асфальтобетона даже в течение суток.



а) в течение суток (лето)



б) в течение года

1 - на глубине 1 см от поверхности; 2 - на глубине 5 см; 3 - на глубине 10 см; 4 - на глубине 15 см

Рисунок 4 - Изменение температуры в покрытии асфальтобетона по данным А.В. Руденского

В последующие годы по причине различий в измерениях, вызванных приведенными выше обстоятельствами, на одном и том же участке дороги могут приниматься значения в 1,5-2 раза отличные от среднестатистических. Возможно, возникнут ошибочные предположения о величине прогнозных значений несущей способности на таком участке дороги. Закономерность снижения прочности не будет установлена с высокой степенью аппроксимации. По результатам измерений упругого прогиба на некоторых участках дорог в связи с разбросом измерений будет сложно назначать ремонтные мероприятия и аргументированно обосновать толщину слоя усиления дорожных одежд.

Существенное значение при оценке прочностного состояния сети республиканских автомобильных дорог имеет производительность установок динамического нагружения. В сутки динамическим методом лаборатория может провести испытания на 20-25 км дорог. Ежегодно за сезон общий объем измерений составляет 2500-2700 км. Для оценки прочности сети республиканских дорог протяженностью более 15000 км необходимо около 6 лабораторий, что потребует значительных материальных затрат. В противном случае, при использовании одной лаборатории, повторное измерение прочности на одном и том же участке дороги возможно через 5-6 лет при обязательном проведении измерений по всей сети. Это может привести к несвоевременному принятию решений о ремонте покрытия и, как следствие, накоплению остаточных деформаций в слоях основания дорожной одежды, переустройство которой в дальнейшем потребует значительных материальных затрат.

При небольших морозах, характерных для территории республики, имеется достаточно времени для подтока воды и образования ледяных линз, являющихся причинами возникновения пучин в слоях дорожной одежды. Снижение прочности вследствие образования пучин оценивается по величине неравномерного пучения. Расчет возможной величины морозного пучения поверхности дорожного покрытия определяется по формуле (10) с учетом изменения влажности грунта для различных климатических районов и глубины промерзания ($h_{пуч}$) [10].

$$h_{пуч} = \frac{(3,24 + \sigma^{0,079}) \cdot \sqrt{t_{пр} \cdot 24} \cdot q}{d} \cdot [1,09 \cdot (W_h + W_o + \Delta W_{отн} \cdot \left(\left(\frac{1}{q} - \frac{1}{\Delta} \right) - W_o \right) - W_h) \cdot C -$$

$$-W_{нз}) \cdot \left(\frac{1}{q} - \frac{1}{\Delta} - W_{нз} \right)] , \quad (10)$$

где σ – характеристика суровости зимнего периода;

d – плотность воды, г/см³;

$t_{пр}$ – продолжительность периода промерзания, ч;

q – плотность сухого грунта, г/см³;

W_h – влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения ($t = -0,5 \dots -1,0^\circ\text{C}$), %;

W_o – начальная влажность грунта земляного полотна, %;

$W_{отн}$ – отношение осеннего приращения влажности к максимально возможной величине приращения влажности грунта;

Δ – плотность скелетных частиц грунта ($\Delta = 2,67 \dots 2,73$), г/см³;

C – коэффициент весенней влажности ($C = 0,8 \dots 2,5$);

$W_{нз}$ – влажность, соответствующая незамерзающей воде, %.

Важность применения на практике показателя морозного пучения в большей степени определяется не количественной величиной как таковой, а возможностью своевременно определить вероятное место возникновения пучин. Приблизительно к практическому использованию необходимо реализовать систему взаимосвязи влажности характерного грунта и величины морозного пучения, определяющую степень снижения прочности на участке дороги. Кроме вида грунта, существенное влияние на снижение прочности дорожной одежды играет величина отклонения влажности земляного полотна от среднего значения в году, продолжительность его промерзания и скорость приращения влажности в период максимального увлажнения. Величина морозного пучения в построенном ранжированном ряду позволяет определять местоположение участков дорог, имеющих наиболее высокую вероятность формирования пучин. Впоследствии по сформированному перечню необходимо проводить детальную диагностику для разработки эффективных мероприятий по устранению и предотвращению причин пучинообразования с указанием директивных сроков. Такие участки дорог следует выделить в отдельную группу и ежегодно проводить наблюдения с целью оценки эффективности принятых решений.

При решении задач по оценке прочности дорожных одежд разработаны и внедрены модели, основанные на зависимости между видами де-

фектов покрытия, коэффициентом прочности и толщиной слоев усиления для дорог различных категорий [11]. В большинстве случаев получение данных о деформациях и разрушениях на эксплуатируемых участках дорог осуществляется визуальным осмотром поверхности покрытия или с помощью видеосъемки. Привязка каждого дефекта ведется по протяженности (километражу) дороги. Оценка состояния усовершенствованного покрытия может выполняться по проценту дефектности (DP) и по баллам [12]. Процент дефектности покрытия на участке длиной не менее 100 метров и не более 1000 метров, определяемый с точностью до 0,1% (11), должен соответствовать нормативным требованиям [3].

$$DP = \frac{\sum w_i \cdot L_i \cdot K_n + S_{di}}{S_p} \cdot 100\% \leq DP_{норм}, \quad (11)$$

где S_{di} – площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги, м²;

K_w – коэффициент весомости;

S_p – общая площадь покрытия на участке, м²;

DP – расчетная дефектность покрытия, %;

$DP_{норм}$ – допустимое значение дефектности покрытия, %;

L – протяженность линейного дефекта покрытия на участке дороги, м;

w – коэффициент приведения для линейных дефектов.

Перспективное планирование изменения дефектности дорожных покрытий нежестких дорожных одежд определяют по формуле (12)

$$DP_t = DP_0 \cdot e^{At}, \quad (12)$$

где DP_t – прогнозируемый процент дефектности, %;

DP_0 – начальный процент дефектности на момент оценки состояния, %;

t – время прогноза, лет;

A – коэффициент, зависящий от интенсивности движения расчетной нагрузки, $A = 0,4016$.

На стадии проектирования проводится оценка устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов. Количествен-

ным показателем, принятым при осуществлении прогнозов, является уровень повреждаемости (ψ). Уровень повреждаемости определяется расчетом по формуле (13) в соответствии с разработанной методикой [13] по уровням работоспособности от перепадов температур, циклов замораживания, интенсивности движения в расчетный период.

$$\psi_o = 1 - F_o^{3,8 \cdot (1 - F_o)^{-0,4}} < DP_{норм}, \quad (13)$$

где F_o – общий уровень работоспособности, рассчитывается по формуле (14)

$$F_o = F_n - (1 - F_i^n) - (1 - F_m^n), \quad (14)$$

где F_n – приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности (15);

$$F_n = F_{сез(1)} - \left(1 - \frac{1,2 \cdot R_n}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{сез(2)}) - \left(1 - \frac{R_n}{R_c}\right) \cdot (1 - F_{сез(3)}) - \left(1 - \frac{1,5 \cdot R_n}{R_c}\right), \quad (15)$$

где $F_{сез(i)}$ – работоспособность по сезонам: 1,2,3,4, соответственно, – весна, лето, осень, зима (16);

$$F_{сез(i)} = \left(1 - \frac{\frac{q^{T_{ссл}} - 1}{0,7 \cdot f_{ноч} \cdot \sum N_i \cdot S_i \cdot \frac{q-1}{q^{(T_{ссл}-1)}} \cdot T_{под} \cdot K_n \cdot \alpha}}{\left(\beta \cdot \frac{R_n}{\sigma_r}\right)^9}\right), \quad (16)$$

где N – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств i -ой марки, авт.;

S – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства i -ой марки к расчетной нагрузке;

$f_{ноч}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним;

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам, %;

T_{cl} – расчетный срок службы дорожной одежды, лет;

T_{pdt} – число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции, дней;

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;

α, β – коэффициенты, принимаемые в зависимости от поры года (0,1..0,27), (1..1,6);

R_n – прочность материала на растяжение при изгибе, МПа;

σ_r – растягивающие напряжения в слое покрытия, МПа;

R_c – предельная структурная прочность материала, МПа;

F_r^n – уровень работоспособности от температурных факторов (17);

$$F_r^n = 0,35 \cdot \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v1}}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right) + \left(1 - \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v1}}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right)^{3,8 \cdot \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v1}}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right)^{-0,4}} \right) \cdot 0,7, \quad (17)$$

где p_{v1} – принимают 0,8 – для верхнего слоя; 0,75 – для средних слоев; 0,07 – для нижнего слоя;

F_r^n – уровень работоспособности от попеременного замораживания-оттаивания (18);

$$F_m^n = 0,4 \cdot \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v11} \cdot W}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right) + \left(1 - \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v11} \cdot W}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right)^{3,8 \cdot \left(1 - \left(\frac{R_n \cdot p_{v11} \cdot W}{R_c} \right)^6 \cdot T_{cl} \right)^{-0,4}} \right) \cdot 0,6, \quad (18)$$

p_{v11} – принимают в зависимости от интенсивности движения 0,013-0,020;

W – водонасыщение асфальтобетонного слоя, %.

Показатели дефектности и повреждаемости принимаются как итоговые расчетные параметры, характеризующие состояние дорожных покрытий с точки зрения назначения ремонтных мероприятий. Возможно, следует применять дифференцируемый подход к оценке состояния дорожных покрытий, позволяющий выделять характерные сочетания дефектов. Определение основных причин возникновения дефектов и реализация мероприятий, устраняющих первопричины их образования, позволят с максимальным эффектом использовать выделяемые материальные ресурсы. Многолетние исследования, проведенные учеными разных стран, позволили определить связь между состоянием дорожной одежды и коэффициентом ее прочности [14, 15]. Именно нарушение сплошности монолитного слоя асфальтобетона в виде отдельных трещин характеризует прочностное состояние конструкции

по периодичности распадаемых трещин и ширине их раскрытия. Трещины на покрытии фиксируют в едином потоке информации в виде погонных метров, при этом не указывается периодичность их образования. При расчете дефектности по объемам зафиксированных трещин не учитывается их ширина раскрытия и ранее проведенные мероприятия по их ремонту в процессе содержания. Так, к примеру, на автомобильных дорогах с

частыми трещинами, залитыми битумной мастикой, дефектность покрытия соответствует состоянию, при котором частые трещины имеют нитевидный характер или ярко выраженный вид сформированных трещин, но в тех же объемах. Степень снижения прочности и срок службы для таких состояний дорожной одежды различные и требуют проведения различных по своей технологии и принципу ремонтных мероприятий (рис. 5).

Сопоставимости степени разрушения покрытия и способности дорожной одежды воспринимать транспортные нагрузки очевидна. Дополнительно к оценке прочности по упругому прогибу для равнозначных измеренных значений рационально было бы определять ко-



а) Нитевидные трещины



б) Трещины шириной раскрытия до 10 мм



в) Трещины шириной раскрытия более 10 мм



г) Трещины залитые битумной эмульсией

Рисунок 5 - Поперечные трещины, по своему характеру требующие различных методов выполнения ремонтных мероприятий при одинаковых объемах (в метрах):

**а) содержание; б) капитальный ремонт;
в) капитальный ремонт с фрезерованием; г) текущий ремонт**

эффицент прочности по среднему расстоянию между трещинами [16]. Также следует учитывать весомость других дефектов покрытия при выявлении преимущественных объемов на асфальтобетонном покрытии. Выкрашивание и шелушение на покрытии, распределенное по всей ширине проезжей части, вызывает в дальнейшем образование микровыбоин и требует проведения капитального ремонта. Принятие такого дефекта в расчете как несущественного, т.е. с минимальным коэффициентом весомости, в такой ситуации не позволит назначить фрезерование покрытия с устройством слоя усиления в соответствии с нормативными требованиями.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ РЕМОНТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Ровность покрытия определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинно

плоской поверхности в пределах диапазона длин волн 0,5-50 м [17]. Ровность покрытия непосредственно взаимосвязана с удобством движения, ее необходимо измерять и оценивать для принятия решения о проведении ремонтных мероприятий по исправлению продольного или поперечного профиля проезжей части. Измерение ровности производится профилометрическими методами и методами, основанными на результатах обратной реакции транспортного средства.

Оценка ровности покрытия основывается на сравнении максимального измеренного значения на участке дороги с нормативными требованиями (19), (20).

Значения требуемой ровности различаются для участков, вновь вводимых в эксплуатацию после ремонта, и для эксплуатируемых участков дорог. Эти значения должны быть не более указанных в технических нормативно-правовых документах [18]

$$IRI_{изм} \leq IRI_{норм} \quad (19)$$

$$S_{\text{изм}} \leq S_{\text{норм}} \quad (20)$$

где $IRI_{\text{изм}}$ – измеренный методом профилирования индекс ровности, м/км;

$IRI_{\text{норм}}$ – нормативное значение индекса ровности покрытия, м/км;

$S_{\text{изм}}$ – измеренное значение ровности приборами импульсного действия (толлкомерами), см/км;

$S_{\text{норм}}$ – нормативное значение ровности, см/км.

Для выбора наиболее эффективного вида ремонта требуется знать изменение международного индекса ровности IRI при эксплуатации [19]. Прогнозируемое значение ровности определяется по формуле (21)

$$IRI_t = IRI_0 \cdot e^{A \cdot \sum_1^t N} \quad (21)$$

где IRI_t – прогнозируемая ровность, м/км;

IRI_0 – ровность на момент оценки, м/км;

$\sum N$ – общее количество расчетных автомобилей гр. А на одну полосу за прогнозируемый период t (лет), тыс. ед. (22);

$$\sum_1^t N = N_1 \frac{365 (q^t - 1)}{q - 1} \quad (22)$$

где q – коэффициент ежегодного роста интенсивности движения;

N_1 – интенсивность движения расчетных автомобилей гр. А на одну полосу в первый год;

A – коэффициент, зависящий от модуля упругости конструкции дорожной одежды на момент оценки (23);

$$A = \frac{8 \cdot 10^{11}}{E^{6,28}} \quad (23)$$

где E – значение расчетного модуля упругости конструкции дорожной одежды на момент оценки, МПа.

Влияние ремонтных мероприятий на ровность асфальтобетонных покрытий установлено И.В. Нестеровичем [20]. Так, при устройстве асфальтобетонных слоев изменение ровности покрытия предлагается определять по формуле (24)

$$IRI_p = (-0,05h + 0,5) \cdot IRI_0 + (0,09h + 0,9) \quad (24)$$

где IRI_p – ровность покрытия после ремонта, в IRI ;

IRI_0 – ровность покрытия после ремонта, в IRI ;

h – толщина слоя асфальтобетона, см.

При оценке ровности покрытия рассматриваемая методика сравнения фактических значений с нормативными не принимает во внимание величину расхождения между этими значениями. Так, превышение нормативного значения по ровности на 1% или на 50% для системы представляется несоответствием нормативным требованиям по ровности и только. Результатом оценки является назначение ремонтного мероприятия по ровности для обоих участков. В таких случаях текущий ремонт участков дорог с ровностью покрытия, значительно превышающей нормативную, не всегда эффективен. Основной проблемой в этом случае является сложность доведения значений ровности до нормативных требований ($IRI = 2 \dots 2,5$ м/км) путем устройства только выравнивающего слоя, без проведения фрезерования покрытия или переустройства основания. Кроме того, в процессе оценки ровности не проводится анализ ее изменения за весь период службы до момента проведения ремонта, что не позволяет проводить прогнозирование наступления критических ситуаций, требующих вложения значительных средств. Изучение темпов ухудшения ровности за несколько лет позволит выделить участки дорог, где ровность покрытия менялась незначительно, что предполагает равномерное накопление пластических деформаций в течение межремонтного срока службы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностика автомобильных дорог определяет текущее состояние покрытий автомобильных дорог и в определенной степени позволяет получать информацию о процессах, происходящих в слоях

дорожных одежд [21]. В результате мы рассматриваем материалы диагностики как следствие, а не причины процессов, снижающих работоспособность дороги. Проектирование дорожных одежд на 80%-90% основано на расчетах, определяющих требования к таким прочностным показателям дорожных одежд, как общий модуль упругости, предел прочности при сжатии и растяжении, трещиностойкость укрепленных слоев, касательные напряжения материалов, сдвигоустойчивость, степени морозоустойчивости и водонасыщения асфальтобетона и т.д. В процессе эксплуатации практическая оценка указанных прочностных характеристик материалов, согласно нормативным требованиям [22], производится в лабораторных условиях. Естественно, поточным методом при проведении диагностики дорог определять прочностные показатели не представляется возможным (кроме измерения модуля упругости). Полученная информация по остальным параметрам (ровность, дефектность) не увязана с характеристиками прочности.

Что касается расчетных характеристик дорожной одежды, определение которых представляет собой сложный расчет с использованием множества факторов, то необходимо учесть, что такой набор данных не всегда имеется в базе дорожных данных предприятия, обслуживающего дорогу. Тем более, отсутствует возможность проводить измерения или длительное наблюдение за изменением значений параметров, участвующих в расчетах. Построенные математические модели основаны на вычислениях искомого параметра на основании учета главных параметров, по мнению их разработчиков, наиболее существенно влияющих на результаты предполагаемых значений с определенным уровнем надежности. В случае получения дополнительной информации, в процессе дальнейших исследований, теоретические модели приходится перестраивать и дополнять. Возможно, решения по оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог следует принимать на основании сравнительных наблюдений для каждой дороги особо. Качественные характеристики дорожной одежды, определяющие потребность в первоочередных ремонтных мероприятиях, следует дополнять не только результатами прогнозируемых расчетов по выкладкам математических моделей, но и аналитическими предложениями, принятыми на основании изучения темпов регрессии рассматриваемого параметра за фактический срок службы.

Принятие решений о своевременности назначения ремонтов и выборе технологий ремонтных мероприятий должно основываться на результатах оценки состояния покрытия проезжей части

и изучения процессов, происходящих в дорожной одежде в целом. Потребность в ремонтах, назначаемых по данным проведенных измерений, превышает планируемые расходы на ремонты в 2,7 раза [23]. Принимая решение о выборе участка, назначаемого в ремонт, теперь недостаточно полагаться только на данные результатов измерений вследствие большого количества характерных участков с близкими по объемам выявленными несоответствиями. Необходимо принимать обоснованные решения по выбору наиболее проблемных участков дорог на основании анализа предыдущих измерений. Также следует учитывать опыт проведения диагностики с целью усовершенствования применяемых методов и дальнейшим выбором мероприятий, с более высокой эффективностью устраняющих причины снижения работоспособности дороги.

Система оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги должна определять и формировать список участков дороги по степени их работоспособности и долговечности. Оценку параметров дорожной одежды и покрытия, наиболее существенно влияющих на эти характеристики, а также на безопасность и удобство движения транспортных средств, следует проводить с расчетом точки зрения не только устранения выявленных несоответствий, но и своевременного снижения темпов ухудшения каждого параметра в отдельности. Объективно, необходимую информацию о дороге следует предоставлять во временном факторе: изменение параметров до момента обследования, фактические результаты диагностики, перспективное изменение ТЭС дороги и назначение ремонтов. При этом ремонтные мероприятия на автомобильной дороге, характеризующие отказ работы дорожной конструкции, должны быть последним этапом в цепочке мероприятий, направленных на сохранность и долговечность автодорог.

Литература

1. Леонович, И.И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. В 2 т. / И.И. Леонович. – Минск: БНТУ, 2003. - Т. 1: Общие вопросы содержания и ремонта дорог, машины и материалы. – 270 с.
2. Леонович, И.И. Транспортно-эксплуатационное состояние сети республиканских автомобильных дорог и основные направления повышения их качества / И.И. Леонович, Ю.В. Буртыль, Я.Я. Новгородский // Вестник БНТУ. – 2008. - № 6. – С. 56-63.
3. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики: ТКП 140-2008. – Введ. 15.07.08. –

Минск: Минтранс, 2008. – 48 с.

4. Леонович, И.И. Диагностика и управление качеством автомобильных дорог / И.И. Леонович [и др.]; под общ. ред. И.И. Леоновича. – Минск, 2002. – 356 с.

5. Рекомендации по оценке прочности нежестких дорожных одежд по чаше прогиба: ДМД 02191.5.008-2009. – Введ. 10.09.09. – Минск: Минтранс, 2009. – 15 с.

6. Дороги автомобильные. Методы испытания: СТБ 1566-2005. – Введ. 22.07.05. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 20 с.

7. Лушников, Н.А. К вопросу оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог / Н.А. Лушников // Труды ГП РосдорНИИ: сб. науч. ст. / ГП РосдорНИИ; редкол.: В.А. Кретов (отв. ред.) [и др.]. – Вып. 11. – М., 2003. – С. 82-87.

8. Кулижников, А.М. Пять ошибок, или недостатки проектов ремонта и способы их устранения / А.М. Кулижников // Автомобильные дороги. – 2004. – №5.

9. Дорожный асфальтобетон / Н. В. Гезенцевей [и др.]; под общ. ред. Н.В. Гезенцевей. – М.: Транспорт, 1976. – 352 с.

10. Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218.046-2001. – М.: Минтранс, 2001. – 145 с.

11. Ермаков, М.С. Совершенствование отраслевой системы диагностики автомобильных дорог для повышения эффективности диагностических и ремонтных работ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 04.02.09 / М.С. Ермаков; Саратов. гос. техн. университет. – Волгоград, 2009. – 20 с.

12. Рекомендации по оценке эксплуатационного состояния и качества содержания автомобильных дорог: ДМД 02191.2.010-2008. – Введ. 10.11.08. – Минск: Минтранс, 2009. – 79 с.

13. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008. – Введ. 19.11.08. – Минск: Минстройархитектуры, 2009. – 86 с.

14. Яковлев, Ю.М. Оценка прочности нежестких дорожных одежд с учетом их фактического состояния / Ю.М. Яковлев // Проблемы строительства

и эксплуатации автомобильных дорог в начале XXI века: сб. науч. тр. МАДИ. – М., 2000. – С. 97-103.

15. Стрижевский, А.М. К вопросу об оценке прочности нежестких дорожных одежд на основе данных о состоянии дорожного покрытия / А.М. Стрижевский // Труды ГП РосдорНИИ: сб. науч. ст. / ГП РосдорНИИ; редкол.: В.А. Кретов (отв. ред.) [и др.]. – М., 2003. – Вып. 11. – С. 42-54.

16. Борисюк, Н.В. Видеодиагностика автомобильных дорог и система регистрации проезжей части / Н.В. Борисюк, Ю.М. Яковлев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – №1. – С. 23-25.

17. Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / Под общ. ред. А.В. Микина. – Минск: БелЭН, 2002. – 672 с.

18. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения: СТБ 1291-2007. – Введ. 30.11.07. – Минск: Госстандарт, 2007. – 30 с.

19. Рекомендации по назначению ремонтных мероприятий с учетом расчетных межремонтных сроков службы дорожных конструкций: ДМД 02191.5.002-2006. – Введ. 11.12.06. – Минск: Минтранс, 2007. – 21 с.

20. Нестерович, И.В. Критерии ровности асфальтобетонных дорожных покрытий и их использование при оценке эксплуатационного состояния автомобильных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 28.01.05 / И.В. Нестерович. – Минск, 2005. – 166 с.

21. Носов, В.А. Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки / В.А. Носов // Автомобильные дороги. – 2006. – №12. – С. 81-86.

22. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115-2004. – Введ. 06.05.04. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 43 с.

23. Новгородский, Я.Я. Опыт выполнения диагностики автомобильных дорог в Беларуси / Я.Я. Новгородский // Материалы юбилейной науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию Белорус. дор. науки, Минск, 30-31 окт. 2008 г. / БелдорНИИ. – Минск, 2008. – С. 226-232.