

# КРИТЕРИЙ УСТАЛОСТНОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ХОЛОДНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ИЗ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

## FATIGUE DAMAGEABILITY CRITERION FOR FORECASTING THE DURABILITY OF COLD ASPHALT CONCRETES MADE OF EMULSION MINERAL MIXTURES



**П. В. Вавилов,**  
ведущий инженер  
ГПО «Горремавтодор  
Мингорисполкома», г. Минск,  
Беларусь

**С. Е. Кравченко,**  
кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой  
«Строительство и эксплуатация  
дорог» Белорусского  
национального технического  
университета, г. Минск,  
Беларусь

Описывается методика лабораторной оценки и прогнозирования долговечности по критерию усталостной повреждаемости дорожных покрытий из холодных асфальтобетонов на основе эмульсионно-минеральных смесей. Приводятся результаты определения динамического модуля упругости, относительной деформации при циклическом воздействии нагрузки, а также усталостной повреждаемости образцов из холодных асфальтобетонов с различными добавками и образцов из эквивалентных по составу горячих асфальтобетонов.

The laboratory procedure is described for assessment and forecast of durability in terms of fatigue damageability for road surfaces made of cold asphalt concretes based on emulsion mineral mixtures. The listed results include the dynamic modulus of elasticity, relative strain resulting from cyclic loading, and fatigue damageability of specimens of cold asphalt concretes with various additives and specimens of hot asphalt concretes equivalent in terms of their composition.

### Введение

Достигнутые в последнее время в Республике Беларусь результаты развития технологии устройства конструктивных слоев дорожных одежд из эмульсионно-минеральных смесей (ЭМС) позволяют надеяться на ее более широкое применение при строительстве, капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог. Постоянно появляются новые и совершенствуются действующие технические нормативные правовые акты (ТНПА) и вспомогательные документы, регулирующие приготовление и применение ЭМС. Одной из немногих проблем, которые еще требуют решения, остается область применения различных по составу и свойствам ЭМС в конструкциях дорожных одежд.

В настоящее время область применения ЭМС назначается в зависимости от класса смеси (физико-механических свойств) и вида крупной фракции (щебень гранитный, доломитовый, гравийный) [1], в то же время при расчете дорожной конструкции используется одна «усредненная» ЭМС [2]. Наилучшим решением в данной ситуации представляется определение области применения и срока службы холодных асфальтобетонов из ЭМС на основании их усталостных свойств. Для горячего асфальтобетона существует подобная методика определения усталостной повреждаемости [3], основанная на учете механизма разрушения асфальтобетона от действия транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов. Адаптация данной методики к осо-

бенностям холодных асфальтобетонов из ЭМС позволит обоснованно назначать область их применения и прогнозировать срок службы каждого фактического состава ЭМС.

#### Методики подготовки и проведения испытаний

Теоретические предпосылки прогнозирования срока службы дорожных покрытий изложены в публикациях [4, 5]. Сущность метода определения прогнозируемой усталостной повреждаемости заключается в оценке изменения высоты образца из холодного асфальтобетона под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С и последующем анализе соотношения упругой и пластической деформаций [2]. Обработка полученных результатов и расчет прогнозируемой усталостной повреждаемости образца выполнялись при помощи специального программного обеспечения [3].

Для определения прогнозируемой усталостной повреждаемости холодных асфальтобетонов в соответствии с [3] образцы требуемого размера изготавливались, хранились до момента испытания и испытывались согласно [1]. Перед испытанием по определению прогнозируемой усталостной повреждаемости образцы холодных асфальтобетонов из ЭМС также подвергались испытаниям по определению динамического модуля упругости ( $E_{у(дин)}$ ) методом неразрушающего динамического импульса по [6].

Составы испытанных ЭМС приведены в таблице 1.

Коалесцент и Stabiram CM 502 вводились в готовую эмульсию. Минеральные добавки (известь и дефекат) – в минеральную часть до пере-

мешивания с водой и битумной эмульсией. Все смеси изготавливались по комплексной технологии: ступенчатое перемешивание минеральной части (включая минеральные добавки) с водой (при ее наличии), последующее введение битумной эмульсии (с добавкой при ее наличии) и перемешивание до получения однородной несвязной массы, визуалью полностью покрытой вяжущим и не содержащей комков и скоплений мелких частиц и битумной эмульсии.

#### Полученные результаты и их обсуждение

Все нормируемые показатели физико-механических свойств холодных асфальтобетонов из ЭМС указанных составов в нормативный срок соответствуют требованиям [1].

На рисунке 1 приведены значения динамического модуля упругости образцов, измеренного методом неразрушающего динамического импульса, которые впоследствии подвергались испытанию по определению относительной деформации. Данное испытание проводилось с целью определения динамики формирования холодных асфальтобетонов. Начиная с седьмых суток модуль упругости холодных асфальтобетонов со всеми добавками выше, чем у контрольного состава. Таким образом, добавки, вводимые в количестве согласно таблице 1, позволяют ускорить формирование холодных асфальтобетонов.

Минеральные добавки способствуют увеличению адгезии, структурируют вяжущее, а также формируют дополнительную структуру вторичного вяжущего, что особенно важно в случае использования природных песков в составе минеральной части. Это приводит к ускорению формирования холодных асфальтобетонов

Таблица 1 – Составы ЭМС

Условное обозначение состава	Состав минеральной части	Добавка	Количество добавки, %	Вода предварительного увлажнения, %	Модуль содержания эмульсии
k	Щебень фр. 5–10 мм (34 %) и песок природный ( $M_k = 2,83$ ) (66 %)	-	-	3,0	1,0
st		Stabiram CM 502*	0,2	3,0	
d-2		Дефекат	2,0	3,5	
d-4			4,0	4,0	
d-6			6,0	4,5	
l-2		Известь	2,0	4,0	
l-4			4,0	4,5	
w-1		Коалесцент**	1,0	3,0	
w-1,5			1,5		
w-2			2,0		

\* Уплотняющая добавка по [1], сверх массы эмульсии.  
 \*\* Жидкая химическая добавка [7], сверх массы минеральной части.

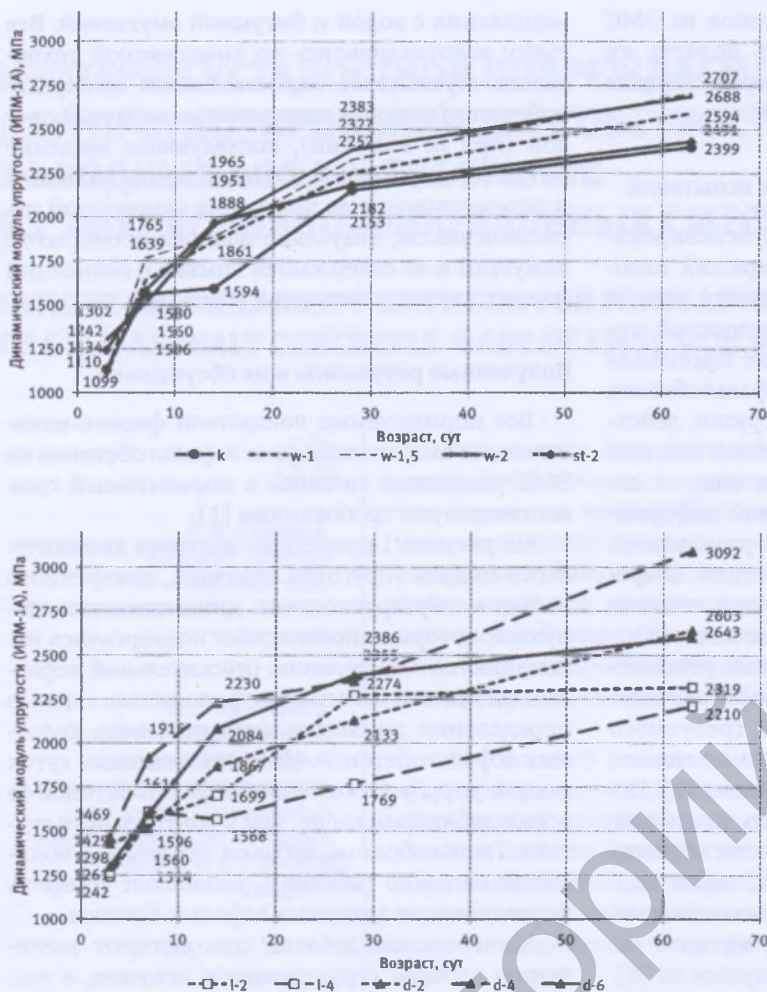


Рисунок 1 – Динамический модуль упругости (ИПМ-1А) образцов из холодных асфальтобетонов

и улучшению их физико-механических показателей. Низкие значения динамического модуля упругости составов с известью l-2 и l-4 можно объяснить неоднородностью полученных смесей вследствие высокой реактивности минеральной части к битумной эмульсии (одинаковой рецептуры для всех ЭМС), в результате чего не полностью реализуются свойства органического и гидравлического вяжущих. Следует отметить, что введение дефеката в количестве до 6 % не вызвало затруднений при перемешивании.

На рисунке 2 представлена динамика изменения величины относительной деформации образцов из холодных асфальтобетонов на основе ЭМС. Введение минеральных добавок в состав холодных асфальтобетонов ожидаемо положительно влияет на величину относительной деформации, в то время как коалесцент увеличивает деформативность образцов из холодных асфальтобетонов в сравнении с образцами из контрольного состава.

Обращает на себя внимание минимум значений деформации, наблюдаемый в возрасте семи суток, для всех составов, за исключением холодных асфальтобетонов с коалесцентом. Это приблизительно соответствует времени, когда из образцов уходит основная часть воды [8]. Можно предположить, что в этот период смесь является наиболее жесткой из-за своей неоднородности и большого количества контактов взаимодействия вследствие того, что значительная часть вяжущего находится в форме соединенных частиц эмульгированного битума [8]. До этого момента вода «компенсировала» отсутствие однородности, а после происходит уменьшение числа контактов за счет формирования пленки вяжущего. У составов с гашеной известью l-2 и l-4 нет заметного пика величины деформации, что можно объяснить расходом воды на гидратацию. То есть, благодаря однородности асфальтовяжущего и формированию кристаллической структуры вторичного вяжущего, величина деформации составов с гашеной известью не только меньше почти в 2 раза в сравнении с контрольным составом, но и в меньшей степени подвержена изменениям. У составов с коалесцентом минимум деформации смещен вправо, и поскольку вода также уходит к возрасту семи суток, то можно предположить, что данный экстремум указывает на уход коалесцента из холодного асфальтобетона в период с 7-х по 14-е сутки.

На рисунке 3 представлена динамика изменения прогнозируемой усталостной повреждаемости, рассчитанной на основе результатов определения относительной деформации образцов. Описать изменение прогнозируемой усталостной повреждаемости образцов из холодного асфальтобетона на основе ЭМС во времени какой-либо функцией затруднительно. Это связано с принятой моделью для определения долговечности [5], не учитывающей наличие в структуре асфальтобетона воды. Поэтому значения усталостной повреждаемости, полу-

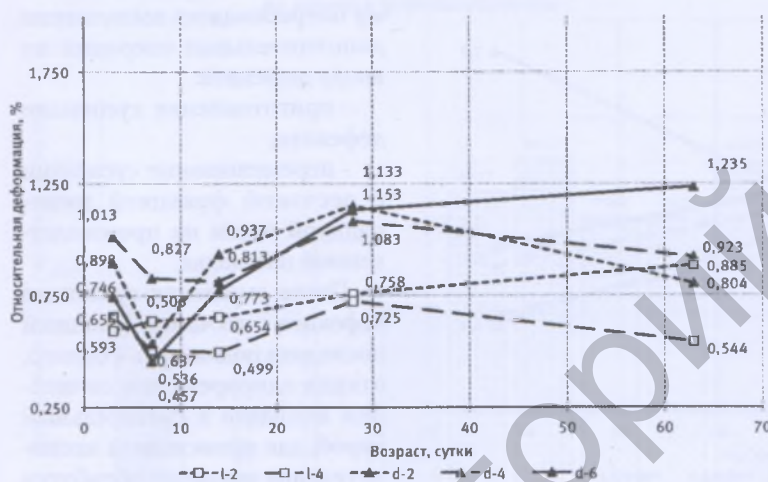
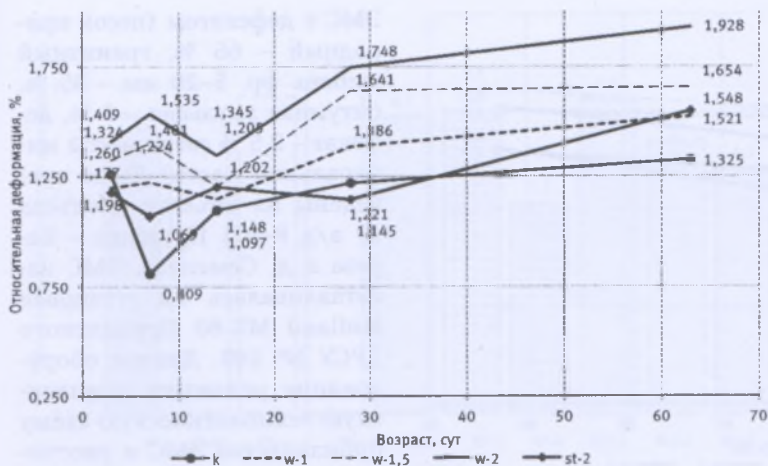


Рисунок 2 – Относительная деформация образцов из холодных асфальтобетонов

чаемые в раннем возрасте (до 7 суток) следует исключить из рассмотрения, так как холодный асфальтобетон еще содержит значительное количество воды в своем составе. Для оценки долговечности холодных асфальтобетонов в первом приближении можно использовать модель для горячих асфальтобетонов при условии, что в расчетном возрасте содержание воды будет минимальным.

На основании данных рисунков 2 и 3 можно предложить принять в качестве минимального расчетного возраста определения долговечности холодных асфальтобетонов с минеральными добавками 28 суток, поскольку на это время приходится экстремумы рассматриваемых функций. Относительно других составов холодных асфальтобетонов данное предположение требует дополнительных исследований, а в настоящий момент время испытаний можно принять по аналогии.

Для сравнения были изготовлены и испытаны образцы из горячих асфальтобетонов эквивалентного состава (рис. 4–6). Образцы асфальтобетонов были получены путем перестроения образцов из ЭМС в соответствии с [9], испытаны по [3, 6].

Высокие значения относительной деформации перестроенного асфальтобетона состава l-2, видимо, вызваны ошибками при подготовке и проведении испытания по [3].

Поведение асфальтобетонных смесей с дефектом закономерно: относительная деформация и усталостная повреждаемость уменьшаются по мере увеличения количества дефекта, который выполняет функцию наполнителя.

Перестроенные асфальтобетоны с жидкими химическими добавками предположительно должны обладать деформационными и реологическими свойствами, близкими к свойствам контрольного состава, поскольку влияние добавок нейтрализуется высокими температурами приготовления смесей. Данные рисунков 4 и 6 подтверждают эти ожидания, за исключением мо-

дуля упругости асфальтобетона состава w-2, высокое значение которого, возможно, вызвано нарушением температурного режима приготовления образцов (старение вяжущего).

Значения прогнозируемой усталостной повреждаемости холодных асфальтобетонов в возрасте 28 суток приближаются к аналогичным значениям эквивалентных по составу перестроенных горячих асфальтобетонов. Данные рисунков 3 и 5 также свидетельствуют, что холодные асфальтобетоны из ЭМС, испытанные на долговечность по методике для горячих асфальтобетонов [3], могут применяться для устройства дорожных покрытий на дорогах III-й технической категории.

### Производственная апробация

Опытно-технологические работы по устройству экспериментального участка покрытия из

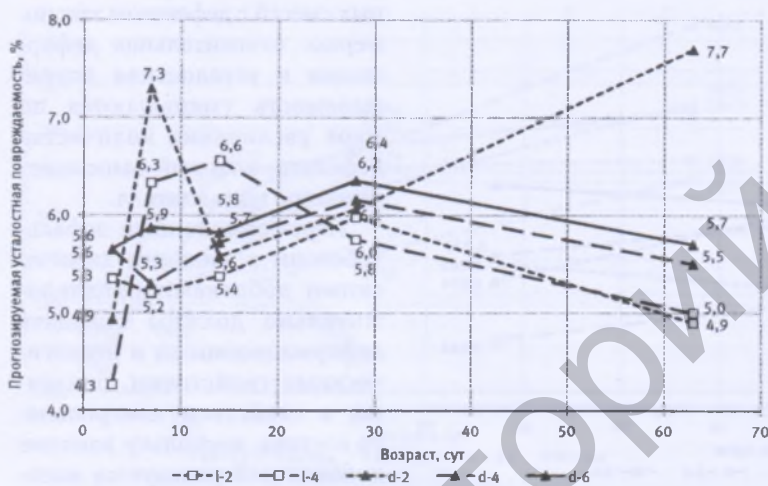
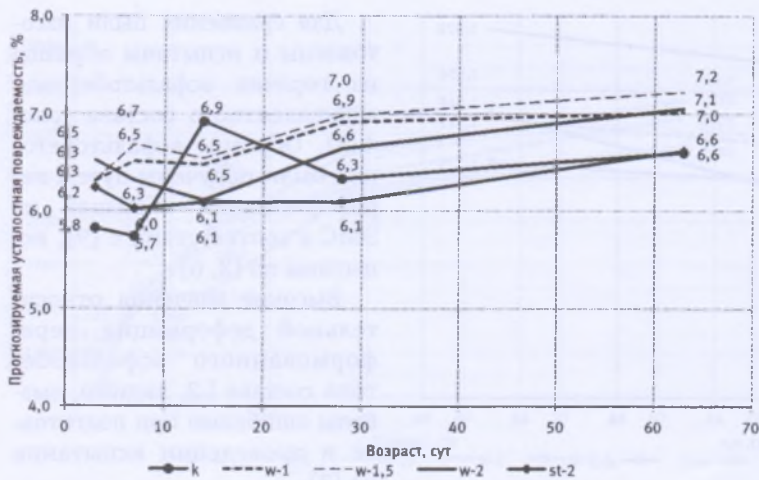


Рисунок 3 – Прогнозируемая усталостная повреждаемость образцов из холодных асфальтобетонов

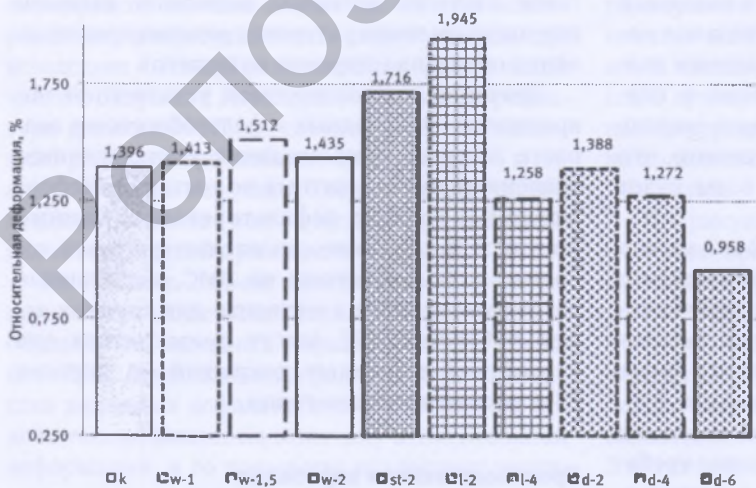


Рисунок 4 – Относительная деформация образцов из горячих асфальтобетонов

ЭМС с дефекатом (песок природный – 65 %, гранитный щебень фр. 5–20 мм – 35 %, битумная эмульсия – 8 %, дефекат – 2,5 % сверх массы минеральной части) были проведены на объекте «Подъезд от а/д Р-101 Пружаны – Береза к д. Семенча». ЭМС изготавливалась на установке Midland MX-80 Пружанского ДРСУ № 140. Данное оборудование реализует комплексную технологическую схему производства ЭМС и рассчитано на две фракции минерального материала, поэтому потребовалось выполнение дополнительных операций по вводу дефеката:

- приготовление суспензии дефеката;
- перемешивание суспензии с песчаной фракцией минеральной части на производственной площадке.

После смешения суспензии дефеката с песчаной фракцией последняя подавалась в бункер, откуда одновременно со щебнем попадала в смесительный короб, где происходила заключительная операция обработки минеральных материалов битумной катионной эмульсией. Работы по укладке выполнялись согласно [1], внешний вид покрытия сразу после устройства представлен на рисунке 7.

Для лабораторных испытаний были отобраны две производственные пробы ЭМС: смесь, не содержащая дефекат (ЭМСк), смесь с дефекатом (ЭМСд). Физико-механические свойства указанных смесей представлены в таблице 2.

Таким образом, производственная апробация подтверждает техническую возможность реализации технологии приготовления ЭМС с дефекатом. Результаты испытаний производственных составов ЭМС подтверждают полученные ранее экспериментальные данные и свидетельствуют о положи-

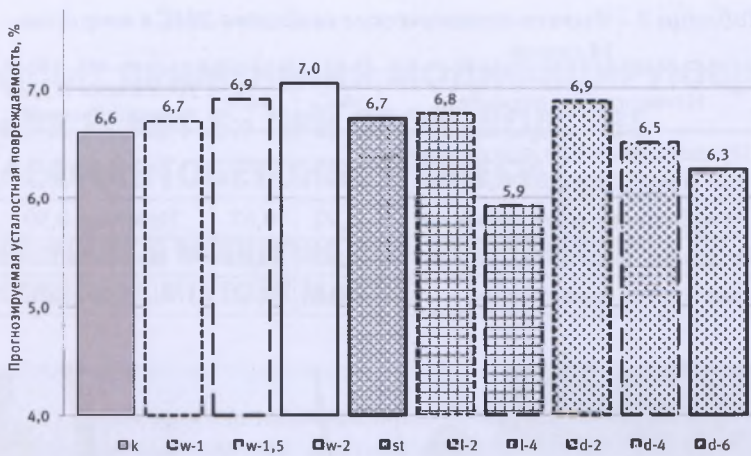


Рисунок 5 – Прогнозируемая усталостная повреждаемость образцов из горячих асфальтобетонов

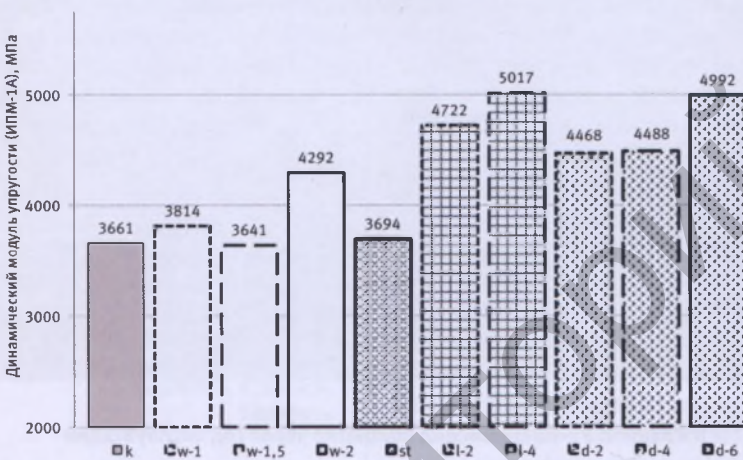


Рисунок 6 – Динамический модуль упругости (ИПМ-1А) образцов из горячих асфальтобетонов



Рисунок 7 – Внешний вид покрытия сразу после устройства

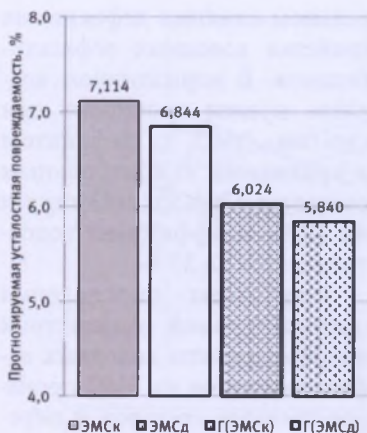
тельным влиянии дефеката на свойства холодных асфальтобетонов. В нормативном возрасте предел прочности при сжатии ЭМС с дефекатом в сравнении с контрольным составом (ЭМСк) увеличился на 12 %, коэффициент водостойкости – на 37 %.

Результаты определения прогнозируемой усталостной повреждаемости холодных асфальтобетонов из ЭМС производственных составов и перформованных из них горячих асфальтобетонов приведены на рисунке 8. Отследить изменение прогнозируемой усталостной повреждаемости во времени не удалось в связи с небольшим количеством отобранных проб. Значения в нормативном возрасте указывают на незначительное влияние дефеката на критерий долговечности.

Для получения дополнительных данных о свойствах холодного асфальтобетона из ЭМС с дефекатом за опытным участком установлено наблюдение. На рисунке 9 представлен внешний вид покрытия через год эксплуатации: в результате доуплотнения слоя на поверхность проступили частицы щебня, видимых дефектов не наблюдается.

### Заключение

Методика определения долговечности по критерию усталостной повреждаемости [3] применительно к холодным асфальтобетонам требует дополнительных исследований для корректировки расчетной модели [5], учитывающей наличие воды в структуре асфальтобетона. В существующем виде данная методика может использоваться на стадии подбора составов ЭМС при условии их испытаний в возрасте 28 суток (при соблюдении условия, что в расчетном возрасте содержа-



**Рисунок 8 – Прогнозируемая усталостная повреждаемость в возрасте 14 суток**

ние воды будет минимальным). Анализ результатов усталостной повреждаемости холодных асфальтобетонов из ЭМС, полученных по указанной методике, позволяет на основании данного критерия обоснованно подходить к прогнозированию долговечности дорожных покрытий из ЭМС с учетом их срока службы и планированию перспективных финансовых вложений на их содержание и ремонт в процессе эксплуатации. ❄

**Таблица 2 – Физико-механические свойства ЭМС в возрасте 14 суток**

Наименование показателя	ЭМСд	ЭМСк	Требования [1] для смесей II класса
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	1,45	1,30	Не менее 1,0
Коэффициент водостойкости	0,92	0,67	Не менее 0,50
Водонасыщение, % по объему	9,85	11,82	Не более 12
Набухание, % по объему	0,45	0,44	Не более 2,0



**Рисунок 9 – Внешний вид покрытия через год эксплуатации**

### Литература

1. Автомобильные дороги. Правила устройства покрытий и оснований из эмульсионно-минеральных смесей : ТКП 306-2011 (02191). – Минск, 2011.
2. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования : ТКП 45-3.03-112-2008 (02250). – Минск, 2007.
3. Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : ДМД 02191.2.042-2010. – Минск, 2011.
4. Кравченко, С. Е. Прогнозирование расчетного срока службы и остаточного ресурса асфальтобетонных покрытий на основе учета усталостных явлений // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 1 (5). – С. 71–76.
5. Теоретические и методологические основы определения усталостного ресурса асфальтобетона / С. Е. Кравченко, Л. И. Шевчук // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2 (6). – С. 24–30.
6. Рекомендации по определению динамического модуля упругости асфальтобетона методом неразрушающего динамического импульса : ДМД 02191.2.044-2011. – Минск, 2011.
7. Эмульсионно-минеральная смесь с коалесцентом : заявка на изобретение РБ № а20130754; заявл. 14.06.2013 / П. В. Вавилов, В. В. Асташко.
8. Вавилов, П. В. Смеси эмульсионно-минеральные. Методы подбора состава и испытаний. Технические требования и свойства : обзорная информация / П. В. Вавилов, С. Е. Кравченко, Н. В. Радьков; государственное предприятие «БелдорНИИ». – Минск, 2012.
9. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2004 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2004.

Статья поступила в редакцию 19.05.2014