

ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЭМУЛЬСИОННО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПО КРИТЕРИЮ УСТАЛОСТНОЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

LABORATORY EVALUATION AND PREDICTION OF LIFE TIME FOR ROAD SURFACES MADE OF EMULSION-MINERAL MIXTURES BASED ON LOCAL MATERIALS IN RESPECT TO FATIGUE DAMAGEABILITY

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

П. В. Вавилов, инженер республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск, Беларусь

А. Е. Голятин, инженер республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск, Беларусь

В статье описана методика лабораторной оценки и прогнозирования срока службы дорожных покрытий из эмульсионно-минеральных смесей на местных материалах. Приведены результаты определения усталостной повреждаемости дорожных бетонов из эмульсионно-минеральных смесей при циклическом воздействии нагрузки в процессе их деформирования.

The article describes the method of laboratory evaluation and prediction of life time of road surfaces made of emulsion-mineral mixtures based on local materials. The results of determination of fatigue damageability of pavement concrete made of emulsion-mineral mixtures under cyclic impact of loads during their deformation are shown.

ВВЕДЕНИЕ

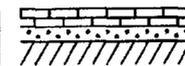
Критерии ресурсо- и энергосбережения в настоящее время, как правило, являются основополагающими при оценке эффективности применения той или иной технологии устройства дорожных покрытий. Показателен анализ по указанным критериям технологии устройства дорожных покрытий из эмульсионно-минеральных смесей на местных материалах. В соответствии с существующими нормативными документами устройство этих покрытий допускается на автомобильных дорогах IV–V технических категорий (смеси II-го класса по ТКП 306 [1] на природных песках). Однако вышеуказанные критерии с учетом накопившегося к настоящему моменту опыта применения эмульсионно-минеральных смесей (далее – ЭМС) и новые теоретические разработки в области оценки и прогнозирования долговечности асфальтобетона с обоснованием срока службы дорожных

покрытий [2, 3] позволяют расширить область применения указанных смесей.

Вопросы прогнозирования срока службы покрытий из горячих асфальтобетонных смесей по критерию усталостной повреждаемости изложены в ряде публикаций [2, 4]. В указанных публикациях приведены методики определения усталостной повреждаемости, основанные на учете механизма разрушения асфальтобетона под воздействием транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов. В данной статье представлены результаты первых исследований, касающихся прогнозирования срока службы дорожных покрытий из ЭМС по усталостной повреждаемости.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

К наиболее достоверным способам определения усталостных свойств материалов дорож-



ных покрытий относятся циклические испытания на сжатие и трехточечный изгиб, соответственно, цилиндрических и призматических образцов. В исследованиях [2, 4] было отмечено, что вязкоупругопластическая модель наиболее полно описывает кинетику деформирования асфальтовяжущего вещества и, следовательно, может быть использована для анализа его деградации и асфальтобетона в целом. При этом следует отметить, что при выборе критерия разрушения теоретический анализ напряженно-деформированного состояния образцов в точной постановке весьма сложен, поэтому для инженерных расчетов достаточно приближенных решений задач. Исходя из имеющихся данных о структуре, механизме разрушения и прочности асфальтобетонов, наиболее объективным критерием прогнозирования его долговечности с учетом деградации свойств асфальтовяжущего представляется деформационный критерий разрушения. При разработке методики определения указанного критерия использовались соответствующие средства испытаний и методы механики деформируемого твердого тела, а также экспериментальные данные о циклической долговечности материала и математическое описание напряженно-деформированного состояния нелинейного деформирования образца материала в течение цикла нагружения.

Сопротивление материалов циклическому упругопластическому усталостному деформированию существенно зависит от характера нагружения. Используются, как правило, два основных вида нагружения: мягкое и жесткое. В первом случае в процессе циклического деформирования постоянной сохраняется амплитуда напряжений, во втором – амплитуда деформации.

При мягком нагружении циклически разупрочняющихся материалов, а к таковым относятся и асфальтобетон, накапливаются пластические деформации, которые могут привести к двум типам разрушения: квазистатическому и усталостному. Квазистатическое разрушение связано с возрастанием остаточных деформаций до уровня, соответствующего разрушению при однократном статическом нагружении. Раз-

рушение усталостного характера связано с накоплением повреждений, образованием прогрессирующих трещин при существенно меньшей пластической деформации. Возможны и промежуточные формы разрушения, когда образуются трещины усталости на фоне заметных пластических деформаций.

При жестком нагружении нет накопления деформаций, что исключает возможность квазистатического разрушения. В этом случае асфальтобетон разрушается по усталостному типу с образованием трещин.

Подобные подходы к определению усталостных свойств асфальтобетонов из горячих асфальтобетонных смесей могут быть применены и к дорожным бетонам из ЭМС, но с учетом особенностей взаимодействия компонентов смесей и их структуры на различных этапах формирования и эксплуатации.

МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ

Для определения прогнозируемой усталостной повреждаемости дорожных бетонов из ЭМС в соответствии с [3] образцы требуемого размера изготавливались, хранились до момента испытания и испытывались согласно [1]. Составы испытанных дорожных бетонов из ЭМС приведены в таблице 1.

Перед испытанием по определению прогнозируемой усталостной повреждаемости образцы дорожных бетонов подвергались испытаниям по определению динамического модуля упругости $E_{у(ИПМ)}$ методом неразрушающего динамического импульса по [5].

Сущность метода определения прогнозируемой повреждаемости заключается в оценке изменения высоты образца дорожного бетона под воздействием импульсной нагрузки, действующей параллельно его вертикальной оси, при температуре 40 °С и последующем анализе соотношения упругой и пластической деформаций [3]. Обработка полученных результатов и расчет прогнозируемой усталостной повреждаемости образца выполнялись программой CREEP.

Таблица 1

Условное обозначение состава	Состав минеральной части	Добавка	Количество добавки сверх минеральной части, % по массе	Модуль содержания эмульсии ЭБКД-М-60
<i>k</i>	Щебень фр. 5–10 мм (34 %) и песок природный ($M_k = 2,83$) (66 %)	–	–	1,0
<i>d2</i>		Дефекат	2	
<i>d4</i>		Дефекат	4	
<i>d6</i>		Дефекат	6	
<i>l2</i>		Гашеная известь	2	
<i>l4</i>		Гашеная известь	4	



ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 показано изменение динамического модуля упругости образцов, измеренного методом неразрушающего динамического импульса. Низкие значения состава *l4* можно объяснить тем, что битумная эмульсия (одинаковой рецептуры для всех ЭМС) распадается раньше, чем удается получить однородную смесь. В результате этого не полностью реализуются как свойства органического, так и свойства гидравлического вяжущего. Здесь же следует отметить, что введение низкоактивного минерального материала (дефеката) в количестве до 6 % не вызывало затруднений при перемешивании.

Из рисунка 1 также следует, что дефекат, как и известь, способствует ускорению формирования образцов дорожных бетонов из ЭМС и увеличению динамического модуля упругости. Надо полагать, что известь и дефекат способствуют улучшению адгезии, структурируют вяжущее (повышают вязкость), а также формируют дополнительную структуру вторичного вяжущего, что особенно важно в случае использования природных песков в составе минеральной части.

Обращает на себя внимание «площадка стабилизации» динамического модуля упругости для контрольного состава *k*, а также для состава с известью *l2* в период с 7-х по 14-е сутки. Так, прирост величины динамического модуля упругости $\Delta E_{y(ИПМ)}^{14-28}$ в период с 14-х по 28-е сутки составил порядка 35 %, в то время как за предыдущий период наблюдения $\Delta E_{y(ИПМ)}^{7-14}$ составляет менее 10 %. Таким образом, при оценке стабилизации свойств ЭМС по изменению величины динамического модуля упругости (ИПМ-1А), возможно, следует производить наблюдения на протяжении более длительного периода, чем принятый (14 суток).

Поскольку физико-механические и реологические свойства дорожных бетонов из ЭМС зависят от степени их уплотнения, то для оценки его влияния на рисунке 2 представлены результаты определения остаточной пористости. Увеличение плотности ЭМС с минеральными добавками в сравнении с контрольным составом *k* представляется закономерным, а также свидетельствует о целесообразности улучшения свойств ЭМС на природных песках путем введения минеральных добавок.

На рисунке 3 представлены результаты определения величины деформации образцов до-

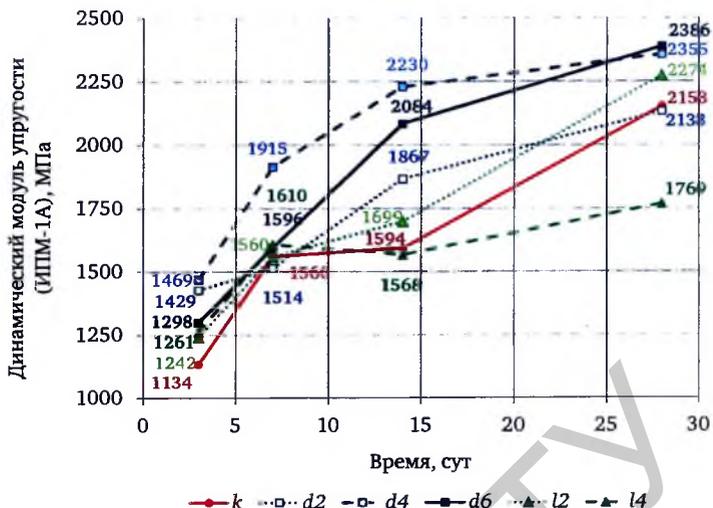


Рисунок 1 – Динамический модуль упругости (ИПМ-1А) образцов дорожных бетонов из ЭМС

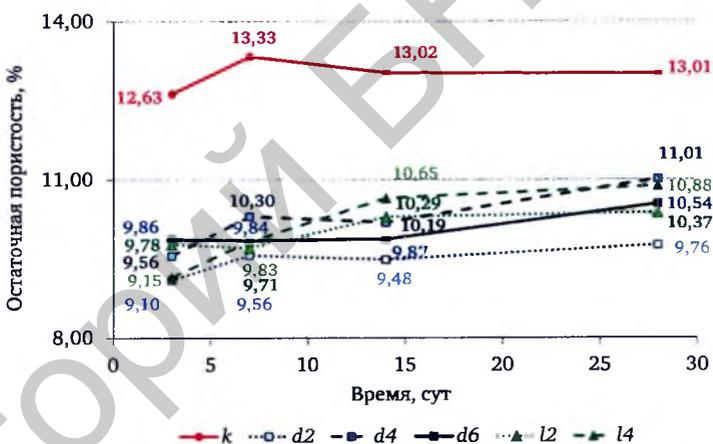


Рисунок 2 – Остаточная пористость образцов дорожных бетонов из ЭМС

рожных бетонов из ЭМС через 3, 7, 14 и 28 суток с момента их изготовления. Тот факт, что величина деформации для всех ЭМС составляет менее 1,5 % в течение начального периода эксплуатации и является несколько неожиданно небольшой, в данном случае, по-видимому, объясняется оптимально подобранными составами и небольшой для ЭМС остаточной пористостью.

Обращает на себя внимание минимум значения деформации, наблюдаемый для всех составов ЭМС, за исключением *l2* на 7-е сутки. Это приблизительно соответствует времени, когда из образцов уходит основная часть воды [6]. Можно предположить, что в это время структура смеси является наиболее жесткой из-за своей неоднородности и большого количества контактов взаимодействия вследствие того, что вяжущее еще в значительной мере находится в форме соединенных частиц эмульгированного битума [6]. До этого момента вода «компенсировала» отсут-



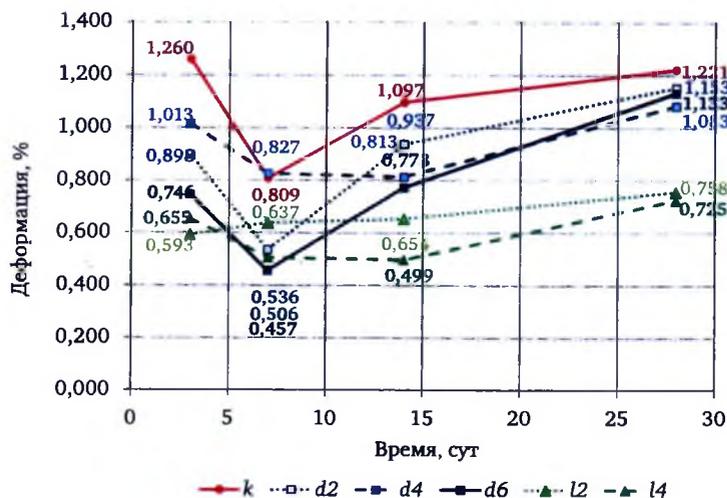


Рисунок 3 – Величина относительной деформации образцов дорожных бетонов из ЭМС (1800 циклов, 100 кПа – 1 с/1 с)

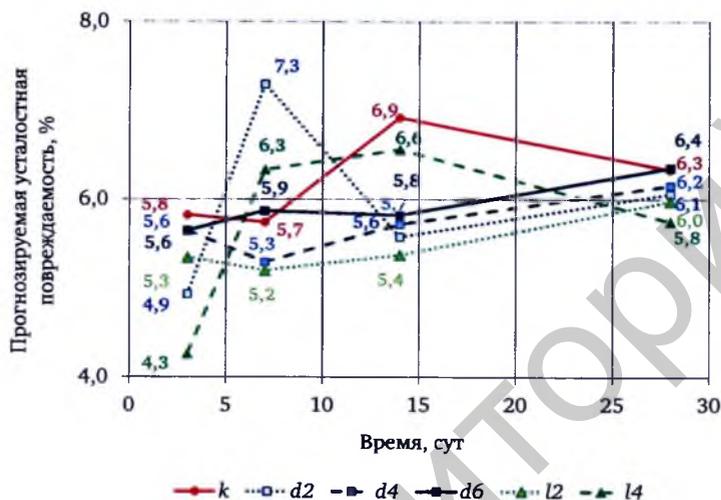


Рисунок 4 – Прогнозируемая усталостная повреждаемость образцов дорожных бетонов из ЭМС (для автомобильных дорог III технической категории $D_n = 6\%$, для IV – $D_n = 7\%$)

но предположить, что в данном случае имеется оптимальное его количество – 4 % (d4). Это предположение основано на значениях динамического модуля упругости, а также более плавном характере изменения кривой величины деформации. По-видимому, данное соотношение компонентов является наиболее благоприятным для максимальной реализации свойств обоих вяжущих.

Прогнозируемая усталостная повреждаемость подсчитывалась при каждом определении деформации, в результате чего были построены графики изменения в каждый момент времени (рис. 4).

Описать изменение прогнозируемой усталостной повреждаемости образцов дорожного бетона из ЭМС во времени какой-либо функцией на основании представленных на рисунке 4 данных затруднительно. К большинству составов можно применить линейную аппроксимацию, но это нелогично с точки зрения данного явления, поскольку при определении прогнозируемой усталостной повреждаемости ЭМС в лабораторных условиях можно предполагать наличие предела (экстремума) в ее функции.

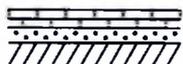
Поскольку данных по этому вопросу, как уже отмечалось, нет, то было принято решение провести сравнение усталостной повреждаемости и величины деформации ЭМС с усталостной повреждаемостью и величиной деформации горячих смесей того же состава (рис. 5 и 6). Образцы асфальтобетонов были получены путем переформования образцов из ЭМС в соответствии с [7].

За исключением состава l2, значения прогнозируемой усталостной повреждаемости образцов из ЭМС приближаются к значениям усталостной повреждаемости асфальтобетонных образцов того же состава, испытанных по истечении 28 суток. Для состава асфальтобетона l2 значения остаточной деформации и усталостной повреждаемости, по-видимому, ошибочны либо по причине недостатков при формировании, либо вследствие несоблюдения методических рекомендаций по проведению испытания при определении остаточной деформации [3], либо особенностей методик формирования и испытания.

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

ствие однородности, а после происходит уменьшение числа контактов за счет формирования пленки вяжущего. Это также частично подтверждается поведением составов l2 и l4 с гашеной известью, у которых нет заметного пика величины деформации, что можно объяснить тем, что в данном случае происходит химическое связывание некоторой части воды. 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 (является более прогнозируемой).

Относительно составов ЭМС с дефектом, учитывая также данные рисунков 1 и 2, мож-



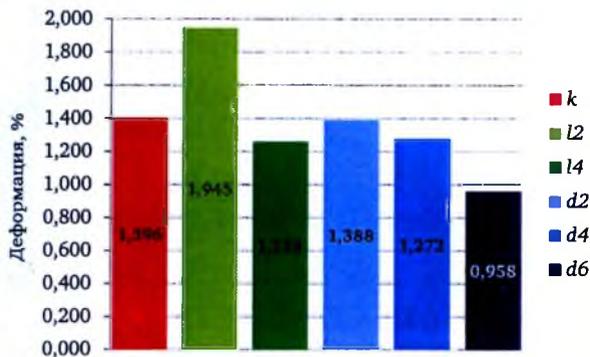


Рисунок 5 - Величина относительной деформации образцов асфальтобетонов (1800 циклов, 100 кПа - 1 с/1 с)

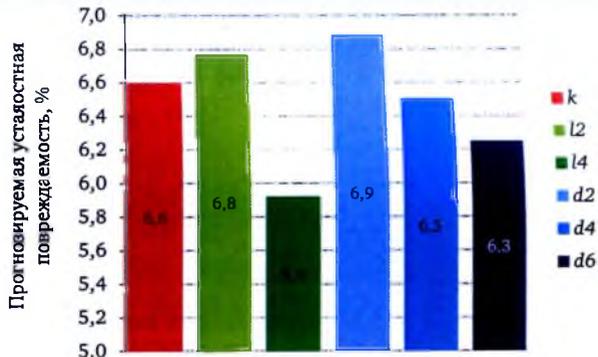


Рисунок 6 - Прогнозируемая усталостная повреждаемость образцов асфальтобетонов

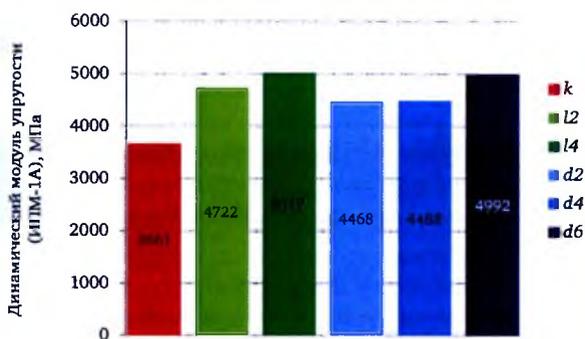


Рисунок 7 - Динамический модуль упругости (ИПМ-1А) образцов асфальтобетонов

Значения остаточной деформации, усталостной повреждаемости и динамического модуля упругости (рис. 7) асфальтобетонных образцов соответствуют ожидаемым. Минеральные добавки в горячих смесях должны выполнять функции адгезионных добавок и наполнителей. Можно утверждать, что реологические свойства асфальтобетонов, эквивалентных по составу ЭМС, подтверждают это положение.

Данные, представленные на рисунках 4 и 6, свидетельствуют о том, что в случае использо-

вания методик, регламентирующих испытания горячих асфальтобетонов, дорожные бетоны из ЭМС по критерию усталостной повреждаемости могут применяться для устройства дорожных покрытий на дорогах III технической категории. В то же время определение прогнозируемой усталостной повреждаемости дорожных бетонов из ЭМС, применяемых для устройства покрытий, и срока их службы на основании рекомендаций [3] возможно при условии, что срок формирования смесей будет равным 21-28 суткам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика определения усталостной повреждаемости и срока службы горячих асфальтобетонов может быть применена и к дорожным бетонам из ЭМС при условии их испытаний на 21-28 сутки после изготовления. Анализ результатов усталостной повреждаемости дорожных бетонов из ЭМС, полученных по указанной методике, позволяет обоснованно подходить к определению области применения указанных смесей с учетом их срока службы и планированию перспективных финансовых вложений на содержание и ремонт покрытий из них в процессе эксплуатации. □

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги. Правила устройства покрытий и оснований из эмульсионно-минеральных смесей : ТКП 306-2011 (02191). – Минск, 2011.
2. Кравченко, С. Е. Прогнозирование расчетного срока службы и остаточного ресурса асфальтобетонных покрытий на основе учета усталостных явлений / С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 1 (5). – С. 71-76.
3. Рекомендации по повышению усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : ДМД 02191.2.042-2010. – Минск, 2011.
4. Кравченко, С. Е. Теоретические и методологические основы определения усталостного асфальтобетона / С. Е. Кравченко, Л. И. Шевчук // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2 (6). – С. 24-30.
5. Рекомендации по определению динамического модуля упругости асфальтобетона методом неразрушающего динамического импульса : ДМД 02191.2.044-2011. – Минск, 2011.
6. Вавилов, П. В. Смесей 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. – С. 13-14, 26-28.
7. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2004 / Госстандарт. – Минск, 2004.

Статья поступила в редакцию 26.04.13.

