

# МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА

## МОРОЗОСТОЙКОСТЬ И УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

В данной статье рассматриваются методы, позволяющие оценить воздействие воды на асфальтобетон при попеременном замораживании-оттаивании, а также методы оценки усталостной долговечности.

(Продолжение [1;2])

В результате воздействия воды (основного врага дороги) происходит ослабление всей дорожной конструкции: понижается устойчивость земляного полотна и основания, уменьшается его прочность, ухудшается способность воспринимать и перераспределять нагрузки от проезжающего автомобильного транспорта. Кроме того, в процессе попеременного замораживания-оттаивания могут происходить значительные разрушения дорожной одежды. Верхние слои конструкции наиболее часто подвергаются воздействию влаги и циклам перехода через 0°C; вода может проникать в них с трех сторон: сверху – вследствие осадков (дождей, снега), сбоку – при насыщении обочин талой и поверхностной водой и снизу – при поднятия грунтовых вод. В результате водонасыщения асфальтобетона возможно отслоение битумных пленок от поверхности каменного материала и снижение сцепления, а при замораживании вода в порах расширяется, что может привести к возникновению микроразрушений (микротрещин в битумо-минеральном материале), которые прогрессируют от цикла к циклу. При этом возможно значительное снижение прочности асфальтобетона: чем больше циклов замораживания-оттаивания, тем быстрее происходит разрушение. На дороге могут появляться такие дефекты, как шелушение, выкрашивание, выбоины, трещины, а при снижении прочности и ослаблении всего конструктива дорожной одежды может возникнуть колея с сеткой трещин. Именно поэтому необходимо строго контролировать водостойкость и морозостойкость асфальтобетона.

Российский ГОСТ 9128 [3] предусматривает контроль воздействия воды на асфальтобетон по показателям водостойкости, в том числе при длительном водонасыщении. Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности при сжатии образцов после воздействия на них воды в условиях вакуума и в случае длительной водостойкости после воздействия на них воды в течение 15 суток (то есть, в упрощенном виде, водостойкость – отношение прочности при 20°C после водонасыщения к исходной) [4]. При этом отечественный стандарт не учитывает попеременное замораживание-оттаивание, которое может вносить значительный вклад в снижение прочности, долговечности и приводит к быстрому разрушению асфальтобетона.

В американском стандарте AASHTO T283 [5] оценка воздействия воды на асфальтобетон проводится после замораживания-оттаивания образцов асфальтобетона, при этом количество циклов может определяться спецификациями и зависит от климатических условий в каждом конкретном штате. В системе «Суперпейв» стандарт AASHTO T283 [5] устанавливает методику испытания асфальтобетона на устойчивость к воздействию воды, согласно которой изготавливается серия из 6–9 образцов диаметром 150 мм и толщиной 63,5 мм с повышенной остаточной пористостью  $7\pm 1\%$ . Это соответствует наихудшему допустимому фактическому результату уплотнения на дороге (при данной остаточной пористости водонасыщение может находиться в пределах 4,5–7,5%). Первую половину серии хранят на воздухе, вторую водонасыщают, заворачивают в пищевую пленку и замораживают в течение суток, после чего помещают

в водяную баню с температурой 60°C и выдерживают в течении 24 часов. Затем образцы термостатируют 2 часа при 25°C и испытывают на прочность по образующей (растяжение при расколе). Первую серию образцов термостатируют, не допуская воздействия воды, и так же испытывают. Коэффициент водостойкости рассчитывают в процентах, и в большинстве спецификаций он должен быть более 80% (примечание: методика проведения испытания приведена не в полном объеме).

На первый взгляд, требования по водостойкости в США ниже, чем предусмотренные отечественным ГОСТ 9128 [3], но при детальном анализе получается обратная картина. Поскольку испытания проходят в довольно жестких условиях замораживания-оттаивания и при этом количество пор асфальтобетона фиксировано, остаточная пористость составляет порядка  $7\pm 1\%$ . Это характерно для пористых асфальтобетонов по российской классификации, для которых водостойкость варьируется в пределах от не менее 0,5–0,7 (или, в пересчете на проценты, не менее 50–70%). Таким образом, американская методика предусматривает более жесткие условия испытания, а спецификации предъявляют более высокие требования к водостойкости, и при этом учитывают циклическое замораживание-оттаивание – морозостойкость.

Как в отечественной, так и в зарубежной методике есть существенный недостаток: оценка водостойкости происходит по соотношению разрушающей прочности серии образцов, каждый из которых может значительно отличаться от другого, несмотря на соблюдение всех условий стандарта при изготовлении образцов и их испытании. В результате в лаборатории получаются не всегда корректные результаты. Это происходит в силу ряда причин, связанных с неоднородностью минерального мате-

риала, старением и адсорбцией вяжущего в процессе формовки, отличием внутренней структуры и объемно-весовых характеристик асфальтобетонных образцов, разницей в геометрических размерах и т. д. (В статьях [1; 2] более подробно рассматриваются недостатки и преимущества стандартных методов изготовления и испытания).

Хорошим решением может оказаться комбинированный метод испытания асфальтобетона, основанный на определении морозостойкости (водостойкости) по оценке степени падения модуля жесткости.

Испытание асфальтобетона на жесткость по методике EN 12697-26 (метод С) – это неразрушающий способ контроля, который позволяет проводить испытания на одном и том же образце до и после воздействия воды. Подробнее о нем можно прочесть в статье [2]. Таким образом, мы можем получить более точные данные по водостойкости, а при использовании американской методики AASHTO T283 [5] – по морозостойкости. В ЗАО «ВАД» данный метод активно применяется для оценки воздействия адгезионных добавок, полимерных модификаторов, дифференцирования качества вяжущих и при подборе состава асфальтобетонных смесей.

В центральной лаборатории ЗАО «ВАД» выполняется множество опытно-экспериментальных работ, учитываются и накапливаются статистические данные испытаний, которые в дальнейшем будут использованы для разработки требований к морозостойкости. На данный момент для оценки качества применяются зарубежные спецификации и нормы, учитывающие вид смеси, тип применяемого вяжущего и количество циклов замораживания-оттаивания.

В зависимости от интенсивности движения и уровня ответственности объекта при подборе состава асфальтобетона и/или в процессе исследовательских работ могут использоваться два уровня проверки по морозостойкости, отличающиеся количеством циклов замораживания-оттаивания. Применяемые нормы из зарубежных спецификаций являются достаточно условными и будут корректироваться с появлением и накоплением новых дан-

| № | Наименование показателя          | ШМА 20 на чистом битуме |      | ШМА 20 на битуме БНД 60/90 + 1,2% Honeywell Titan 7686 |      |
|---|----------------------------------|-------------------------|------|--|------|
|   |                                  |                         |      |  |      |
| 1 | Плотность, г/см <sup>3</sup>     | 2,625                   | 2,67 | 2,625  | 2,66 |
| 2 | Водонасыщение, по объему, %      | 1,5                     | 0,3  | 1,8  | 0,6  |
| 3 | Количество оборотов гиратора [1] | 50                      | 200  | 50   | 200  |
| 4 | Модуль жесткости при 20°C, МПа   | 1855                    | 2365 | 2570   | 3065 |
| 5 | Морозостойкость, %, 5 циклов     | 84                      | 86   | 94   | 99   |
| 6 | Морозостойкость, %, 10 циклов    | 79                      | 82   | 90   | 97   |

**Табл. 1. Сравнительные испытания на морозостойкость ШМА 20**

*Примечание: поскольку требовалось провести сравнительные испытания, приближенные к реальным условиям эксплуатации, в данном случае применялись асфальтобетонные образцы с оптимальной и максимальной плотностью, которая получается в результате применения высокоэффективных технологий укатки, разработанных ЗАО «ВАД»*

ных, получаемых как в лаборатории, так и при наблюдении за опытно-экспериментальными участками.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты испытаний по определению воздействия комплексного модификатора Honeywell Titan 7686 (окисленный полиэтиленовый воск низкого давления) на щебеночно-мастичный асфальтобетон ШМА 20. Поскольку проводилась экспериментально-исследовательская работа, то проверка морозостойкости проходила после 5 и 10 циклов, чтобы определить и понять, насколько сильно будут изменяться свойства асфальтобетона с течением времени. В результате было установлено, что:

- морозостойкость (устойчивость к воздействию воды – замораживанию-оттаиванию) в большой степени зависит от наличия в битуме специальной добавки Honeywell Titan 7686, но также и от качества уплотнения ШМА-20;

- потеря жесткости ШМА-20 на чистом битуме после 10 циклов замораживания-оттаивания при стандартной (не увеличенной) плотности составила 21%, в то время как при тех же условиях, но с использованием модификатора

Honeywell Titan 7686, потеря жесткости составила всего 10%;

- морозостойкость ШМА-20 на чистом битуме после 10 циклов замораживания-оттаивания при повышенной плотности составила 82%, в то время как при тех же условиях, но с использованием модификатора Honeywell Titan 7686 морозостойкость 97%, то есть потеря жесткости составила всего 3%.

Таким образом, используя данную комплексную методику испытания на морозостойкость, по потере модуля жесткости асфальтобетона, мы можем эффективно контролировать устойчивость к воздействию воды и попеременному замораживанию-оттаиванию, а также имеем возможность оценивать и прогнозировать долговечность, как при текущем лабораторном контроле качества, так и при подборе состава асфальтобетонной смеси и выборе оптимальных материалов – полимерных модификаторов и адгезионных присадок.

Одним из самых сложных вопросов при проектировании состава асфальтобетонных смесей и расчете дорожных конструкций является учет и оценка



**Рис. 1. Усталостное растрескивание в виде «крокодиловой кожи»**

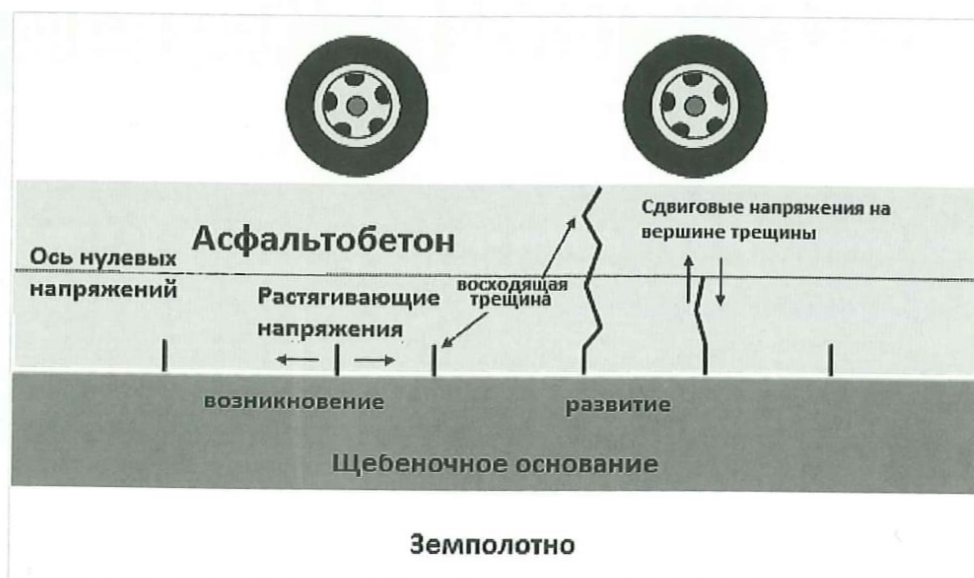


Рис. 2. Развитие усталостной трещины в слое асфальтобетона [6]

усталостных характеристик (усталостной долговечности). Российский стандарт не предусматривает проверку асфальтобетона на усталость, несмотря на то, что данный дефект – растрескивание в виде «крокодиловой кожи» – довольно часто встречается на покрытиях автомобильных дорог (рис. 1).

Усталостное растрескивание возникает в результате воздействия повторяющихся транспортных и тепловых нагрузок и, как правило, оно становится очевидным к концу срока службы дорожного покрытия. Традиционная концепция усталостного растрескивания (рис. 2) в слоях асфальтобетона основана на том факте, что дорожное покрытие изгибается и испытывает максимальные деформации растяжения в нижнем слое асфальтобетонного конструктива с образованием трещин, и при продол-

жении деформации распространяется вверх, с проявлением на поверхности. Это тип трещины – так называемое восходящее растрескивание. В настоящее время признано, что возможно и нисходящее усталостное растрескивание, связанное с повторяющейся нагрузкой (то есть растрескивание, которое начинается на поверхности или рядом с поверхностью дорожного покрытия), в особенности это характерно для толстых слоев асфальтобетона [6].

Испытание на усталостную долговечность обычно проводится для исследований и испытаний в центральной лаборатории, исследовательском центре, для проектирования составов на высоко-ответственных объектах при сравнении различных вариантов смесей, но не для текущего контроля в процессе строительства.

Существует большое количество методов оценки усталостной долговечности. К примеру, европейский стандарт EN 12697-24 [7] содержит пять официальных методов испытания асфальтобетона на усталость. На данный момент наибольшее распространение получили циклические испытания асфальтобетонных образцов в виде балочек (четырехточечный, трехточечный изгиб), трапецидальной формы (двухточечный изгиб – французский метод) и цилиндрической формы (непрямое растяжение) (рис. 3). Основное различие двух первых методов, которые относят к фундаментальным, – это испытание при контролируемой постоянной деформации, в то время как при непрямом растяжении тест проходит при постоянной циклической нагрузке.

Как страны Евросоюза, так и штаты в США определяют для себя наиболее удобную и оптимальную официальную схему испытания. Например, в американской системе «Суперпейв» для исследования усталостной долговечности получила распространение и используется схема «четырёхточечный изгиб». При этом существует два утвержденных равноправных стандарта испытания (ASTM, AASHTO), которые отличаются в основном определением времени жизни образца. Оба этих метода разработаны в рамках проекта SHRP [8] «Программы стратегических исследований в области автомобильных дорог» еще в начале 1990-х. В настоящее время ведется объединение этих методик.

В любом случае, конечная цель всех испытаний – получить график усталостной

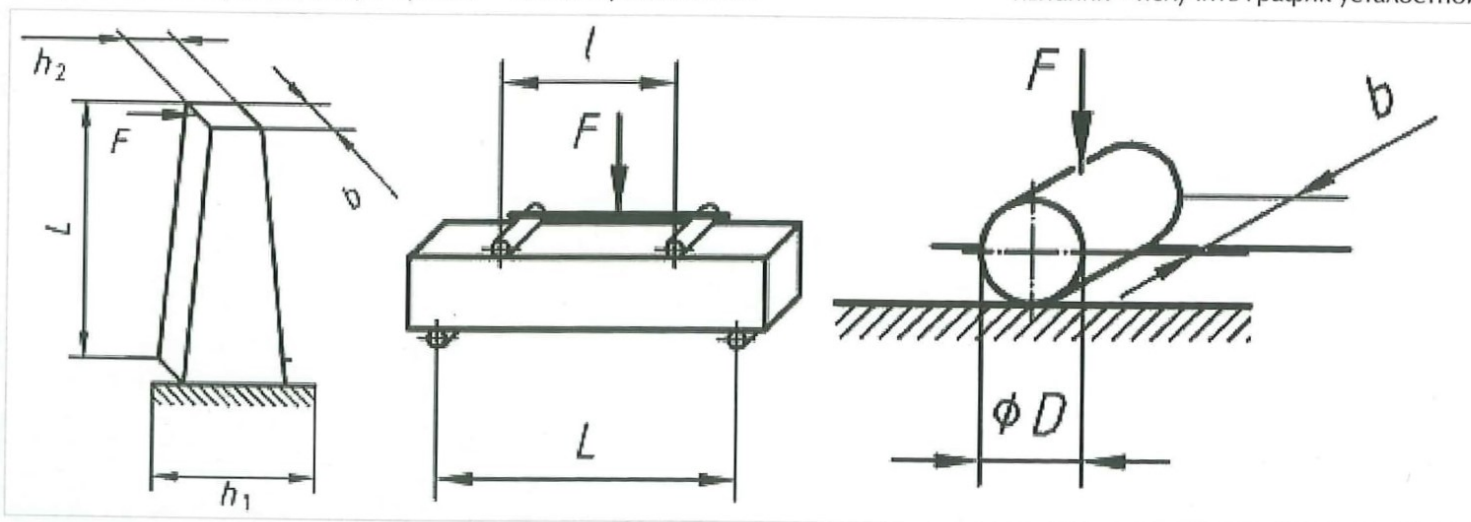


Рис. 3. Основные схемы испытания асфальтобетона на усталость. Слева направо: трапецидальный или двухточечный изгиб; четырехточечный изгиб; непрямое растяжение

долговечности (график зависимости деформации от времени жизни в логарифмических координатах, рис. 5). Для выполнения данной задачи необходимо испытать большое число образцов (минимум 9–12 шт.) при различных условиях нагружения-деформации, что занимает достаточно много времени. Так, тест одного образца при непрямом растяжении и 1 млн циклов нагружения занимает примерно 138,9 часов или почти 6 суток.

Деформации растяжения, которые испытывает асфальтобетонное покрытие в фактических дорожных условиях, в сравнении с лабораторными испытаниями – различны и непостоянны, поскольку в реальности происходит гораздо большее число циклов нагружения от автомобильного транспорта, распределенных во времени. К тому же значительное влияние оказывают погодные-климатические факторы. В лаборатории полная имитация дорожных условий и количества приложений нагрузки займет значительное время и ресурсы. Поэтому построение графиков усталостной долговечности позволяет оценить поведение и спрогнозировать время жизни асфальтобетона при различных деформациях. Также необходимо помнить, что при проведении любых испытаний на усталостную долговечность, при сравнении асфальтобетонных смесей невозможно получить полноценную картину по одной точке только при одном постоянном условии нагружения-деформации.

В последние годы особую популярность набирает метод испытания на усталость при непрямом растяжении EN 12697-24 Метод Е [7], который позволяет проводить оценку по цилиндрическим образцам, полученным как в лабораторных условиях, так и при выпиливании кернов на дороге. Данная методика позволяет достаточно точно и быстро проводить анализ, получать достоверные результаты и имеет хорошую корреляцию с фундаментальными методами испытания, что подтверждают исследования, проведенные во Франции [9]. Кроме того, американские исследователи «Суперпейв» (D. Andersen, H. Bahia) рекомендуют данный метод оценки как более практичный для прогнозирования поведения асфальтобетона, с возможностью получать данные,

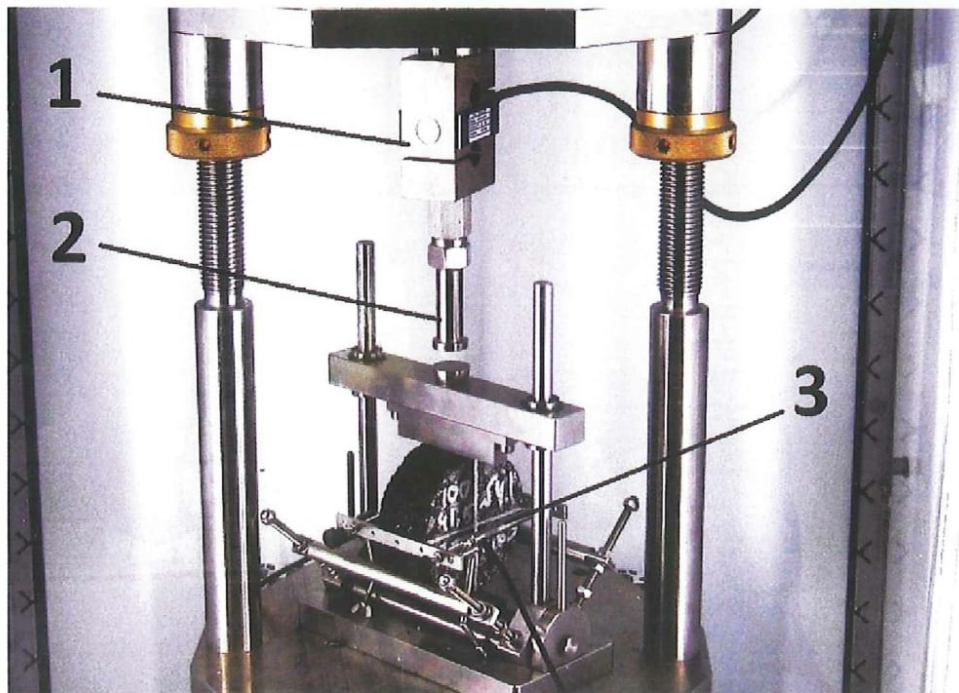


Рис. 4. Оборудование Соорег для испытания асфальтобетона на усталость: 1 – силоизмеритель; 2 – актуатор приложения нагрузки; 3 – датчики измерения деформации

применяемые при расчете конструкций дорожных одежд по программе MEPDG (механико-эмпирический метод проектирования дорожной одежды).

В центральной лаборатории ЗАО «ВАД» была проведена экспериментально-исследовательская работа по сравнению усталостной долговечности крупнозернистой пористой и плотной асфальтобетонной смеси, поскольку именно эти два вида асфальтобетона применяются для строительства нижних слоев, которые испытывают максимальные деформации растяжения.

Асфальтобетонные смеси были изготовлены с использованием гранитного материала и битума марки БНД 60/90. Они полностью аналогичны используемым ЗАО «ВАД» на реальных объектах. Основное различие состояло в том, что в плотной асфальтобетонной смеси содержание битума было на 0,6% выше, чем у пористой, и присутствовал минеральный порошок. Обе смеси полностью отвечали требованиям ГОСТ 9128 [3]. Образцы изготавливались на гираторе-компакторе, что позволило симитировать дорожные условия уплотнения [1], получить высокие плотности и коэффициенты уплотнения, достигаемые по факту на дороге (водонасыщение образцов плотного асфальтобетона составило 1,5–2%, пористого 3–4%).

Серия из 14 образцов каждого асфальтобетона была испытана на усталость в соответствии с EN 12697-24 Метод Е [7]. Методика данного испытания состоит в приложении циклической нагрузки по образующей к цилиндрическому образцу с частотой 2Гц, где 0,1 с – идет нагружение в виде гаверснуса и 0,4с – время покоя (релаксации), при этом боковые датчики измеряют деформацию в начале эксперимента (начальная деформация). Испытание заканчивается определением количества циклов приложения нагрузки до полного разрушения образца (времени жизни). Тест проводится на оборудовании фирмы Соорег (рис. 4), которая непосредственно принимала участие в разработке данной методики и по сей день активно участвует в совершенствовании методов испытаний как в Европе, так и в США.

Серия образцов испытывается под различной нагрузкой, при этом обязательным условием является получение данных с нескольких образцов, которые выдержат минимум миллион циклов приложений. Затем в логарифмических координатах строится график усталостной долговечности, зависимости времени жизни от начальной деформации (рис. 5). Условно принимаем для оценки усталостной долговечности европейский опыт [10], где нормируется начальная де-

| Наименование смеси       | Норма, время жизни, при деформации $E_{ini} = 50$ мкдеф [10] | Фактическое значение, время жизни |
|--------------------------|--|-----------------------------------|
| Крупнозернистая пористая | Не менее $30 \cdot 10^6$                                     | $22,2 \cdot 10^6$                 |
| Крупнозернистая плотная  | Не менее $30 \cdot 10^6$                                     | $69,5 \cdot 10^6$                 |

Табл. 2. Результаты испытаний крупнозернистых асфальтобетонов на усталостную долговечность

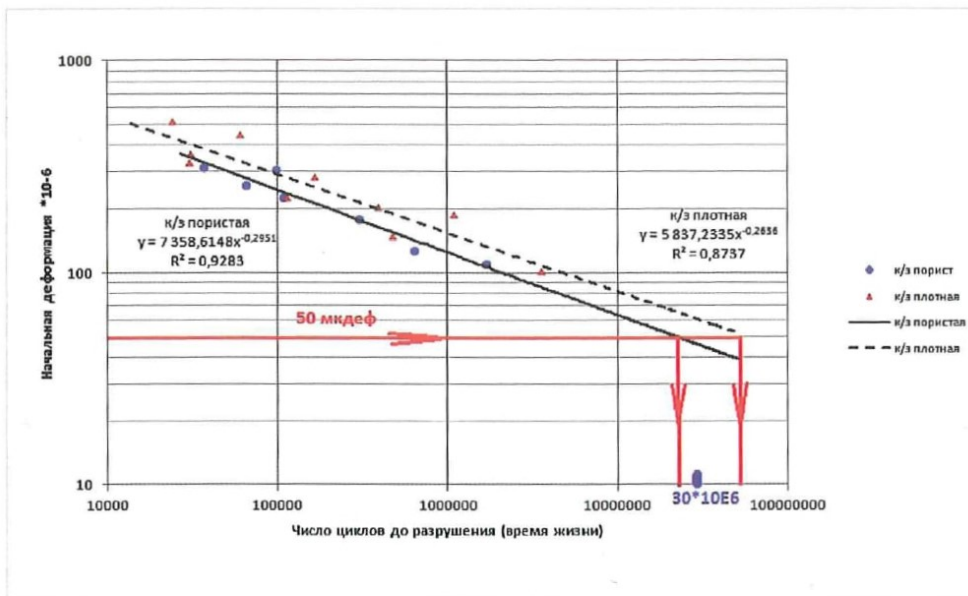


Рис. 5. График усталостной долговечности, зависимости начальной деформации от времени жизни для крупнозернистых асфальтобетонов

формация  $E_{ini} = 50$  мкдеф (Initial strain), при которой время жизни должно быть не менее 30 млн циклов (табл. 2).

Как видно из таблицы и графика, плотная асфальтобетонная смесь превосходит в два-три раза пористую асфальтобетонную смесь по усталостной долговечности. В нашем случае получилось так же: пористая асфальтобетонная смесь не удовлетворяет европейским требованиям по усталостной долговечности. На основе данного эксперимента можно сделать вывод, что время жизни крупнозернистой плотной асфальтобетонной смеси значительно выше, чем у круп-

нозернистой пористой, и, заменив пористый асфальтобетон в нижнем слое на плотный, мы значительно увеличим долговечность асфальтобетонного покрытия и срок его эксплуатации.

Кроме того, существенным недостатком пористого асфальтобетона является его склонность к периодическому насыщению водой и высокая проницаемость. В крупнозернистых смесях содержится большое количество взаимосвязанных открытых пор, и они склонны к проникновению и удерживанию воды даже при остаточной пористости 5–7%, а использование гранитного материала для

производства асфальтобетонных смесей также вносит свой отрицательный вклад и требует обязательного введения адгезионных присадок, повышающих морозостойкость. Данный факт подтверждается лабораторными экспериментами: снижение модуля жесткости у пористого асфальтобетона на гранитных материалах и чистом битуме после проведения испытания на морозостойкость (1 цикл) составляет порядка 20–30%. В то же время такого резкого падения не наблюдалось у асфальтобетонов на габбро-диабазе. В результате все это приводит к снижению прочности всей конструкции дорожной одежды и сокращению срока эксплуатации.

Применяя современные методы испытаний, мы имеем возможность более точно определять физико-механические свойства асфальтобетона, оценивать качество на основе показателей, приближенных к реальным условиям эксплуатации, проводить детальный анализ и прогнозировать долговечность покрытий. Это дает значительные преимущества, как при проектировании составов, так и при выборе решений по использованию тех или иных материалов в каждом конкретном случае.

**В.А. Борисенко,**  
главный инженер ЗАО «ВАД»  
**Д.А. Колесник,**  
руководитель группы исследования  
строительных материалов  
ЗАО «ВАД»

Список источников

1. Методы испытания асфальтобетона. Часть 1. Уплотнение // Дорожная держава. – № 45. – 2013. – С. 64–68.
2. Методы испытания асфальтобетона. Физико-механические свойства: модуль жесткости и трехосное циклическое испытание на сжатие // Дорожная держава. – № 46. – 2013. – С. 46–50.
3. ГОСТ 9128-2009 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия.
4. ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.
5. AASHTO T283 Resistance of compacted asphalt mixtures to moisture-induced damage.
6. Горячие асфальтовые смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в северной Америке. Передовой зарубежный опыт. – Национальный центр по асфальтовой технологии (NAPA), 3-е изд. – «Росавтодор», 2009. – 411 с.
7. EN 12697-24 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 24: Resistance to fatigue.
8. SHRP Project A-404. Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. Asphalt Research Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 1994 June.
9. Indirect tensile fatigue test for asphalt mixes commonly used in France. Joao Manuel Vieira, Didier Desmoulin, Philippe Pellevoisin. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul.
10. Report on results of testing dynamic characteristics of asphalt mixtures from LOT's and proposal for new method of asphalt mixture design, European Agency for Reconstruction, Project Implementation Unit of the Roads Directorate, BCEOM, Republic of Serbia, Belgrade. PAP, I., 2007.