

Использование Autodesk Revit в связке с SOFiSTiK дает преимущества в виде упрощения, а также ускорения проектирования.

Литература

1. Публикация «Переход на BIM-технологии на примере Autodesk Revit 2013», автор Петров М.П.

2. Презентация на тему «Взаимодействие программных комплексов SOFiSTiK и Autodesk Revit» автор Яшанов А. <http://docplayer.ru/37058365-Vzaimodeystvie-programmnyh-kompleksov-sofistik-i-autodesk-revit.html>

УДК 712.5

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Веренько В., Занкович В., Чжун Юй Ли, Лира С., Тинг Го Лю, Цзи Цун Ши
Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co., Ltd
Science and Technology Park of BNTU «POLYTECHNIC»
e-mail: park@icm.by; vitali.zankavich@chngaoyuan.com

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты совместных белорусско-китайских исследований процессов деформирования и разрушения асфальтобетонов дорожных покрытий под действием циклических нагрузок. В основу подхода оценки свойств асфальтобетонов заложено доказательство того, что независимо от состава и структуры, асфальтобетоны с равным количеством упругих (вязкопластических) связей обладают одинаковой релаксационной способностью. Представлены также текущие результаты исследований по разработке мобильного испытательного комплекса для оценки надежности дорожных асфальтобетонных покрытий к восприятию циклических воздействий от транспортных нагрузок.

Введение

Усталостная долговечность асфальтобетонов – один из важнейших критериев, обеспечивающих их надежную и долговечную работу в составе дорожных конструкций, особенно подверженных многократным нагрузкам в широком температурно-временном поле. При выборе типа асфальтобетонов для устройства дорожных покрытий важно иметь методику сравнительной оценки их свойств с точки зрения усталостной долговечности.

В общем случае, усталость материала – это накопление повреждаемости от воздействия переменных (циклических) нагрузок, приводящее к его разрушению за некоторый промежуток времени.

В мировой практике существует большое количество видов испытаний с последующим установлением усталостных характеристик (при постоянной величине напряжений или деформации), например, двухточечный изгиб; трехточечный изгиб; четырехточечный изгиб; изгиб при кручении; прямые испытание с осевым приложением нагрузки (сжатие растяжение); испытание на раскол (непрямое испытание на растяжение).

Все из указанных методов испытаний имеют как преимущества, так и недостатки с точки зрения оценки способности асфальтобетона сопротивляться циклическим воздействиям в дорожных конструкциях. Многочисленны и теории оценки усталости асфальтобетонов, например, теории, основанные на исследовании напряжений и деформаций; энергетические теории; теории на основе механики разрушения.

В тоже время, до сих пор нет однозначного решения задачи нормирования и оценки показателей усталости асфальтобетонов дорожных покрытий. В большинстве случаев связано это с тем, что затруднена корреляция с процессом развития соответствующих деформаций в реальных дорожных конструкциях. Требуется длительный эксперимент, результат которо-

го зависит от многочисленных факторов, определяющих воздействие транспорта, климата, технологических особенностей строительства (ремонта) и др. Результаты расчетов предельного количества циклов до разрушения зачастую могут отличаться в десятки и сотни раз. В большинстве случаев необходимы длительные испытания, что затрудняет возможность оперативного контроля качества асфальтобетонов, например, в производственных условиях и требуется дорогостоящее оборудование. Таким образом, затрудняется возможность унификации критерия и его использования при нормировании показателей свойств асфальтобетонов в технических спецификациях. Не всегда имеется возможность использовать результаты испытаний для практических целей конструирования и расчета дорожных одежд, но при этом критерий усталостной долговечности является главным в системе оценки надежности работы асфальтобетона в дорожных конструкциях в течение расчетного срока службы и требует постоянного совершенствования.

Особенности и перспективы оценки усталостной долговечности асфальтобетонов дорожных покрытий

Сложность оценки усталостной долговечности асфальтобетонов заключается еще и в том, что они сочетают в себе свойства коагуляционных, конденсационных и кристаллизационных структур. В подобных системах расположение различных связей, вяжущего матрицы и вторичной структуры неравномерно по объему материала, прочность и деформативность структурных агрегатов и кластеров также очень неоднородна. С точки зрения механики деформирования и разрушения, структуру подобных материалов можно представить в виде феноменологической модели [1] с комплексным набором упругих, вязких и пластических связей, чередующихся по последовательной и параллельной схемам.

Каждая связь модели (упругая, вязкая, пластическая) имеет собственные механические характеристики, в результате чего асфальтобетон обладает спектром упруговязкопластических свойств. Изменение температуры, величины нагрузки, режима нагружения могут приводить к замене одних связей другими (например, упругих вязкими).

В зависимости от температуры, режима нагружения, состава асфальтобетона в процесс деформирования будет вовлекаться различное число упругих и вязкопластических связей. Соответственно асфальтобетона в различной степени будет проявлять свойства упругого или вязкого тела.

В случае если деформируются только упругие связи, наблюдается полная обратимость деформации, разрушение происходит по механизму хрупкого тела, отсутствует влияние времени действия нагрузки. И наоборот, вязкопластические связи ответственны за появление остаточных деформаций, подвержены влиянию температуры и времени нагружения.

Накопление повреждаемости в структуре асфальтобетона может происходить по двум схемам: разрыв упругих связей; достижение предельной деформации вязкопластических связей.

Независимо от состава и структуры, асфальтобетоны с равным количеством упругих (вязкопластических) связей обладают одинаковой релаксационной способностью, скоростью релаксации, коэффициентом поперечной деформации, соотношением между количеством рассеянной и накопленной энергией. Обусловлено это тем, что при одинаковом содержании связей замедление скорости релаксации влечет за собой и снижение константы скорости релаксации на ту же величину. Такое положение является важнейшей особенностью поведения исследуемых материалов, что позволяет выработать новые подходы к анализу их свойств, например, усталостной долговечности.

При разработке методологических основ оценки надежности и долговечности асфальтобетонов конструктивных слоев дорожных одежд в провинции Хэнань (КНР) направление исследований основывалось на том, что накопление повреждаемости в структуре асфальтобетонов от действия циклических воздействий будет определяться следующими факторами: количеством вовлеченных в процесс деформирования асфальтобетона упругих связей; максимальной прочностью асфальтобетона во всем диапазоне температуры (времени действия

нагрузки); максимальной деформацией во всем диапазоне температуры (времени действия нагрузки).

Если обозначить долю упругих связей, ответственных за состояние асфальтобетона, некоторым скаляром n_r , а вязкопластических n_v , то должно выполняться условие:

$$n_r + n_v = 1. \quad (1)$$

Поскольку в результате деформации вязкопластических связей происходит полное рассеяние приложенной энергии, то теоретически можно принять, что соотношения n_r и n_v определяются отношением диссипативной энергии к приложенной. В таком случае количество n_r и n_v зависит, прежде всего, от релаксационных свойств асфальтобетона и времени действия нагрузки, а количество упругих связей, вовлеченных в процесс деформирования, можно определить из следующей зависимости:

$$n_r = \frac{E_t}{E_c} = \left(\frac{R_t}{R_c} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (2)$$

где E_t и R_t – модуль релаксации и прочность асфальтобетона при конкретных условиях действия нагрузки и температуры, МПа;

E_c и R_c – максимальные значения модуля релаксации и прочности во всем диапазоне температуры и скорости (времени) действия нагрузки, МПа;

m – коэффициент, зависящий от свойств (типа) асфальтобетона.

Величина коэффициента m для асфальтобетонов находится в пределах 0,75-0,90 и, в первую очередь, определяется его модулем упругости (жесткостью). Чем выше модуль упругости (жесткость), тем выше коэффициент m , который может для сравнительных расчетов может приниматься равным 0,8.

Значение n_r изменяется в процессе ползучести и релаксации, поскольку E_t является функцией напряжения и времени действия нагрузки. Это приводит к сложному влиянию процессов ползучести и релаксации на свойства асфальтобетона и механику разрушения [2].

При работе асфальтобетона в упругой стадии ($n_r \rightarrow 1$) его прочность будет равна максимальной во всем диапазоне температуры (времени действия нагрузки) и соответствовать R_c . Поскольку число циклов до разрушения зависит от отношения действующих напряжений к прочности, то чем выше R_c , тем больше будет и цикловая устойчивость асфальтобетона в упругой стадии работы и тем больший уровень повреждаемости в материале может быть достигнут на момент разрушения. Следовательно, значение R_c может служить критерием циклической долговечности при постоянном напряжении в упругой стадии работы.

Максимальная прочность асфальтобетона во всем диапазоне температуры (времени действия нагрузки) может быть рассчитана по результатам испытания на раскол (непрямое растяжение) стандартных цилиндрических образцов по следующей зависимости:

$$R_c = \frac{\frac{R_{t_1}^T + R_{t_2}^T}{2}}{1 + k_1 \log \left(\frac{R_{t_1}^T}{R_{t_2}^T} \right)} \quad (3)$$

где $R_{t_1}^T$ – прочность асфальтобетона при скорости действия нагрузки t_1 и температуре испытания T , МПа;

$R_{t_2}^T$ – прочность асфальтобетона при скорости действия нагрузки t_2 и температуре испытания T , МПа;

k_1 – коэффициент, зависящий от условий испытания (скорости действия нагрузки, температуры).

Если режим нагружения соответствует работе асфальтобетона в вязкой стадии ($n_r \rightarrow 0$), то более высокую циклическую долговечность имеют асфальтобетоны, способные рассеять до разрушения большее количество энергии W_d , которая коррелируется с величиной максимальной деформации ε_m , реализуемой в широком диапазоне температуры и времени действия нагрузки. Работа асфальтобетона в вязкой стадии наблюдается при протекании релаксационных процессов, ползучести и т. п.

Поскольку увеличение R_c повышает вероятность роста долговечности в упругой стадии работы, а увеличение ε_m в вязкой, то в общем случае ($0 < n_r < 1$) максимальной циклической долговечностью будут обладать материалы, имеющие максимальное значение произведения $R_c \cdot \varepsilon_m$.

На рисунке 1 представлены данные теоретической обработки зависимости к определению предельного количества циклов до разрушения при постоянных действующих напряжениях и деформациях от расчетной транспортной нагрузки, определенных в процессе исследования методом конечных элементов трехслойного дорожного покрытия [3]. Исследовались асфальтобетоны, по своим структурным особенностям относящиеся к щебеночно-мастичным. Как видно из полученной зависимости, увеличение количества циклов до разрушения от постоянно действующих напряжений при увеличении значения максимальной прочности R_c асфальтобетна однозначно.

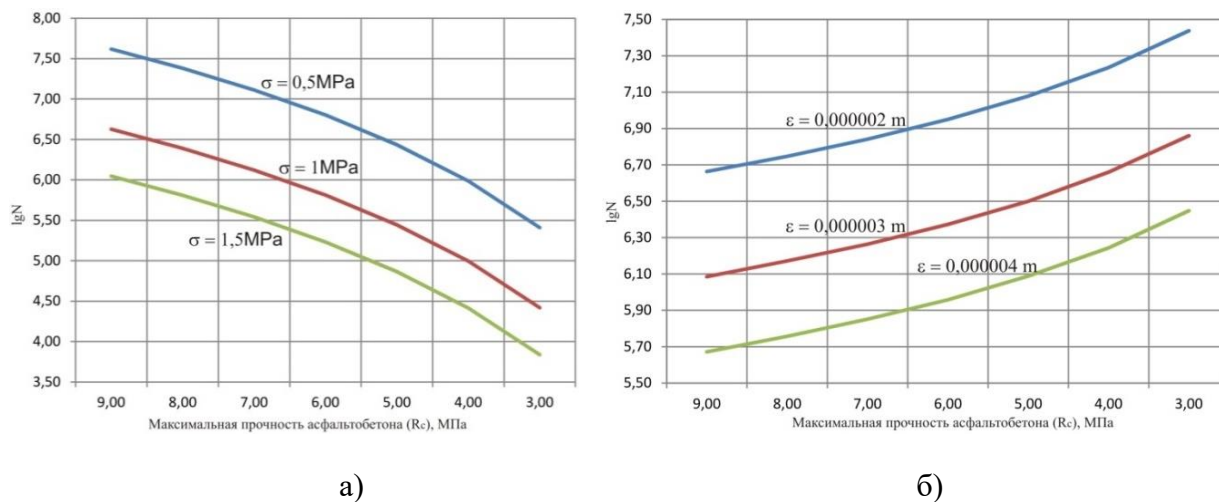


Рисунок 1 – долговечность асфальтобетона при воздействии циклических постоянных напряжений (а) и деформаций (б)

Несколько иная ситуация наблюдается, когда материал периодически подвергается постоянному уровню деформации. В этом случае зависимость предельного количества циклов до разрушения от n_r будет иметь вид экстремальной кривой. Это обусловлено тем, что под действием постоянной деформации напряжения возрастают с увеличением n_r , поскольку увеличивается модуль $E_t = f(n_r \cdot E_c)$. Поэтому, чем выше n_r , тем меньше циклов до разрушения выдерживают упругие связи. И, наоборот, вязкопластические связи

n_v с увеличением n_r принимают на себя меньшую долю общей деформации и их долговечность увеличивается.

В результате максимальная долговечность материала будет наблюдаться при некотором оптимальном соотношении упругих и вязкопластических связей.

На рисунке 2 представлена зависимость к определению максимального количества циклов до разрушения (циклической долговечности) от действия расчетной транспортной нагрузки 130 кН.

Как видно из рисунка 2 асфальтобетоны с высоким значением максимальной прочности R_c однозначно имеют и более высокий потенциал к сопротивлению циклическим воздействиям. В тоже время для таких асфальтобетонов важным является контроль количества вовлеченных в процесс деформирования упругих связей n_r при соответствующих температурах, величине нагрузки и режимах нагружения.

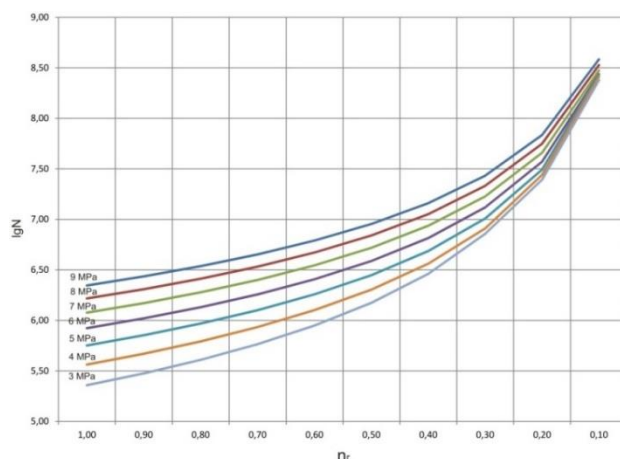


Рисунок 2 – долговечность асфальтобетона в зависимости от величины максимальной прочности и количества, вовлеченных в процесс деформирования, упругих связей

Выполненный анализ теоретических и практических результатов исследований показал, что в качестве критерия, определяющего циклическую долговечность асфальтобетонов в Республике Беларусь может выступать, кроме показателя их максимальной прочности, показатель количества вовлеченных в процесс деформирования упругих связей n_r при температуре 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин (R_0), для Китайской Народной Республики (провинции Хэнань) – при температуре 15°C .

Уровень максимальной прочности R_c от 6 МПа до 9 МПа и выше в основном достижим для асфальтобетонов, модифицированных полимерами, от 3 МПа до 6 МПа – для асфальтобетонов на чистых дорожных битумах. Количество упругих связей n_r при расчетных условиях для модифицированных асфальтобетонов, применяемых для устройства покрытий на автомагистралях высоких технических категорий, должно находиться в пределах не выше 0,55-0,85, для асфальтобетонов на чистых битумах – не выше 0,40-0,55.

Таким образом, появляется возможность довольно простой оптимизации свойств асфальтобетонных смесей на стадии проектирования их состава по критериям усталостной и циклической долговечности, что значительно повысит надежность данного процесса.

В тоже время, на настоящий момент экспериментальная оценка усталостной (циклической) долговечности эксплуатируемых асфальтобетонных дорожных покрытий только косвенно может быть оценена через величину упругого прогиба, который может быть определен, например, с использованием балки Бенкельмана (рисунок 3а), автоматического прогибомера (рисунок 3б), устройства с падающим грузом (рисунок 3в) и т.д.



Рисунок 3 – способы измерения упругого прогиба

В тоже время, стандартные методы диагностики, основанные на измерении упругого прогиба, только констатируют состояние покрытия, но не позволяют выяснить предысторию появившихся дефектов и тем более не позволяют прогнозировать их развитие во времени. Это затрудняет процесс назначения вида и сроков проведения мероприятий содержания и ремонта.

Зачастую получается так, что если исходить из абсолютных величин упругого прогиба, то можно сделать однозначный вывод, что дорожные одежды находятся в хорошем состоянии, так как по всем измеренным величинам отмечается значительный запас прочности в сравнении с предельными значениями. Однако это не коррелирует с фактическим состоянием покрытий. В первую очередь это связано с тем, что не величину упругого прогиба оказывает сильное влияние вид основания, например, что актуально для Китайской Народной Республики, из укрепленных минеральными вяжущими материалами значительной толщины. В таких условиях величина упругого прогиба отходит практически на последний план.

Одним из эффективных способов измерения упругого прогиба дорожных одежд является способ динамического измерения прогиба от движущегося колеса. Такой способ позволяет получать значительно больше информации относительно характеристик дорожного покрытия. На базе компании «Гаююань» (КНР) разработан мобильный комплекс, позволяющий производить измерения в движении для различных осевых нагрузок от 10 до 20 тонн (рисунок 4, 5).



Рисунок 4 – мобильный измерительный комплекс для диагностики дорожных одежд



Рисунок 5 – результаты измерения упругого прогиба

Однако даже такой способ прямого измерения прогиба является недостаточным для целей оценки фактической надежности дорожного покрытия и определения оптимальных сроков проведения мероприятий содержания и ремонта, что является наиболее важным элементом системы менеджмента дорожных одежд.

В настоящее время заканчивается большой эксперимент, проводимый на опытном участке автомагистрали протяженностью около 38 км, выделенном государственными органами провинции Хэнань для исследовательских целей, выполняемых белорусскими и китайскими специалистами, целью которого является сбор и обработка данных измерений характеристик прогиба дорожных одежд при различных осевых нагрузках, скорости движения и температуры. Это позволит, наряду с представленными выше результатами исследования усталостных свойств асфальтобетонов, разработать комплексную методику оценки остаточного ресурса и назначения оптимальных сроков проведения превентивных и ремонтных мероприятий для дорожных асфальтобетонных покрытий на жестких основаниях.

Заключение

1. В настоящей статье представлены результаты исследования способности асфальтобетонов сопротивляться циклическим воздействиям транспорта.

2. Установлено, что для оценки способности асфальтобетонов сопротивляться накоплению усталости, приводящей к разрушению, может использоваться величина их максимальной (структурной) прочности во всем диапазоне температуры и режимов действия нагрузки.

3. Теоретически подтверждены предпосылки к тому, что максимальной циклической долговечностью во всем диапазоне температуры и режимов действия нагрузки будут обладать асфальтобетоны, имеющие оптимальное соотношение упругих и вязкопластических связей. Чем менее хрупким будет материал, чем меньше в его работу будет вовлечено упругих связей, тем меньше будет вероятность появления усталостных деформаций при прочих равных условиях.

4. Задано направление дальнейших исследований, связанное с выполнением комплекса экспериментальных и теоретических исследований, направленных на выработку методологии оценки надежности и долговечности асфальтобетонов дорожных покрытий, испытывающих циклические воздействия транспорта и погодно-климатических факторов, в течение расчетного срока службы, что позволит, помимо всего прочего, оптимизировать процесс проектирования составов асфальтобетонных смесей, в т.ч. модифицированных полимерами.

5. С использованием разработанного мобильного испытательного комплекса выполняется ряд экспериментально-теоретических исследований, направленных на изучение надежности дорожных асфальтобетонных покрытий к восприятию циклических воз-

действий от транспортных нагрузок. Конечным результатом разработки являются методологические основы усовершенствованной системы менеджмента дорожных одежд дорог высоких технических категорий, относящиеся к оценке остаточного ресурса и назначению оптимальных сроков проведения превентивных и ремонтных мероприятий.

Литература

1. Веренько В. 1993. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства. – Навука і тэхніка. – Минск, 246 с.
2. Веренько В. 2008. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения. Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі. – Минск. – 304 с.
3. Веренько В., Занкович В., Ладышев А., Афанасенко А., Яцевич П., Лира С. – 2015. Долговечные асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, мостов и улиц. – АртДизайн. – Минск. – 291 с.

УДК 712.5

ВИДЫ ТРАВЯНИСТЫХ ПИОНОВ КОЛЛЕКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН БЕЛАРУСИ

Зинович А.А.

Белорусский государственный технологический университет

e-mail: anna.zinovvich@mail.ru

Пионы (*Paeonia* L.) – род растений сем. Пионовые (*Paeoniaceae* Rudolphi). Пионы травянистый – это многолетнее корневищное красивоцветущее растение, которые во многих странах мира культивируются с незапамятных времен. Их особо почитают в Китае, где они считаются национальным цветком. В настоящее время мировой ассортимент насчитывает свыше 30 видов и 8000 сортов травянистых пионов.

Интродукция пионов в условиях Беларуси осуществлялась на базе ботанического сада Национальной академии наук Беларуси и датируется еще 1956 годом. Коллекция видовых травянистых пионов была окончательно сформирована и зарегистрирована только в 2005 году, в настоящее время она представлена 9 видами пиона травянистого и 3-мя формами пиона лекарственного (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Состав коллекции видовых травянистых пионов Центрального ботанического сада НАН Беларуси

Название		Год поступления в коллекцию	Источник поступления
русское	латинское		
Пион лекарственный	<i>Paeonia officinalis</i> L.	2000	Кью, Лондон
Пион лекарственный белый махровый	<i>Paeonia officinalis alba plena</i>	1972	Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва
Пион лекарственный розовый махровый	<i>Paeonia officinalis rosea plena</i>		
Пион лекарственный красный махровый	<i>Paeonia officinalis rubra plena</i>		
Пион уклоняющийся	<i>Paeonia anomala</i> L.	2002	Зоопарк, ботанический сад Вильгельма, Германия
		2001	Ботанический сад института биологии Коми НЦ УрО РАН