Технический документ Т-137

Тестирование эксплуатационных качеств асфальтового покрытия при помощи Анализатора Асфальтового Покрытия

Дж. Дон Брок, Рон Коллинс, Синтия Линн

ВВЕДЕНИЕ

Примерно 93% общей площади дорожного полотна в Соединенных Штатах покрыты с помощью горячей асфальтовой смеси. Асфальтовая смесь состоит из битумного вяжущего и заполнителя, дающего структуру, достаточно гибкую для широкого диапазона климатических условий. Тот факт, что асфальтовую смесь можно вырабатывать из различных местных материалов, сохраняя при этом постоянное качество полотна, делает ее самым распространенным материалом в США и во всем остальном мире.

В течение последних 20 лет общий пробег автомобилей в Америке увеличился примерно на 75%. Изменившаяся демогра-фическая ситуация в США также привела к тому, что многие сельские дороги превратились в магистрали с оживленным движением, поскольку население переселяется из городов в сельские районы. Многие асфальтовые дороги состоят из нескольких слоев разнородного покрытия. Эти слои появились в результате временного ремонта или укладки тонкого покрытия для улучшения ровности полотна, когда уделялось мало внимания конструктивной прочности, необходимой для большой нагрузки от автомобильного движения. Притом, что сегодня на дорогах находятся 176 миллионов автомобилей, в Америке столько же машин, сколько водителей. В течение последнего десятилетия нагрузка на дороги нашей страны выросла более чем на 60%. Возросшая нагрузка, а также использование шин высокого давления и радиальных шин объясняют причину частого образования колейности и трещин на асфальтовых дорогах при этих условиях.

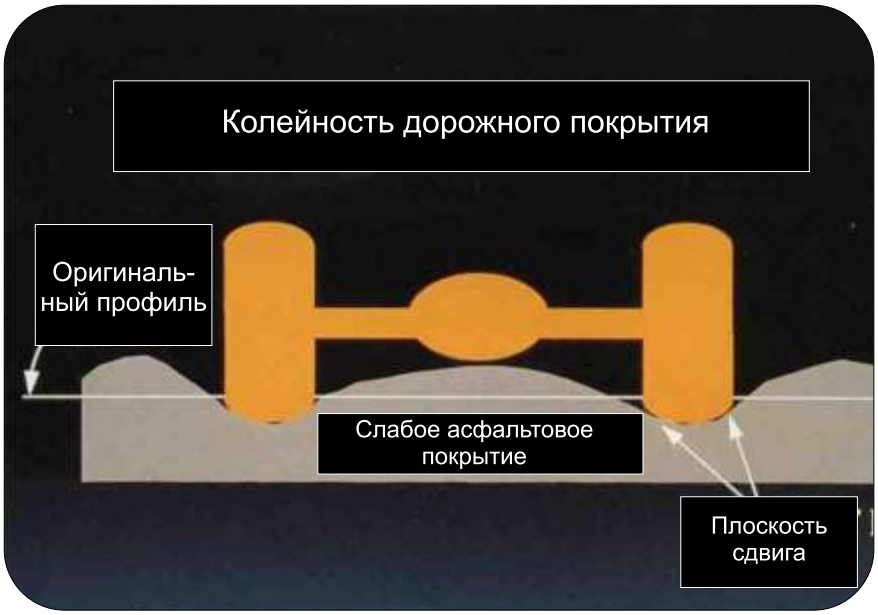

Рисунок 1

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛОТНА

При проектировании асфальтовых дорог главными факторами являются климатические условия, объем движения и вес транспортных средств. На протяжении срока службы дороги эти факторы могут значительно изменяться. Часто предварительная информация ограничена, и дорожные инженеры вынуждены приблизительно оценивать эти величины.

В течение последних 10 лет в дорожной индустрии были разработаны различные тесты, позволяющие предсказать эксплуатационные свойства полотна. Основными интересующими свойствами являются:

- Необратимая пластическая деформация (Рисунок 1)
- Усталостное растрескивание (Рисунок 2)
- Разрушение под действием влаги.

Хотя некоторые способы прогнозирования этих разрушений и оказались пригодными, большинство вскоре было отвергнуто из-за широкого разнообразия условий, воздействию которых подвержено дорожное полотно. В законопроекте о Национальных сухопутных перевозках 1987 года Конгресс выделил 150 миллионов долларов на исследования по улучшению качества дорог страны. В 1987 году была начата Программа Стратегического Исследования Автомагистралей (ПСИА), причем одна треть финансирования была выделена на исследования в области асфальтового покрытия. Главной целью этой пятилетней программы была разработка модели уравнения, предсказывающего качество полотна в реальных условиях, исходя из физических свойств вяжущего материала и заполнителя. Это должно было достигаться путем измерения определенных физических свойств и последующим использованием этих результатов в уравнении, прогнозирующим упругую деформацию, необратимую пластическую деформацию и склонность к растрескиванию.

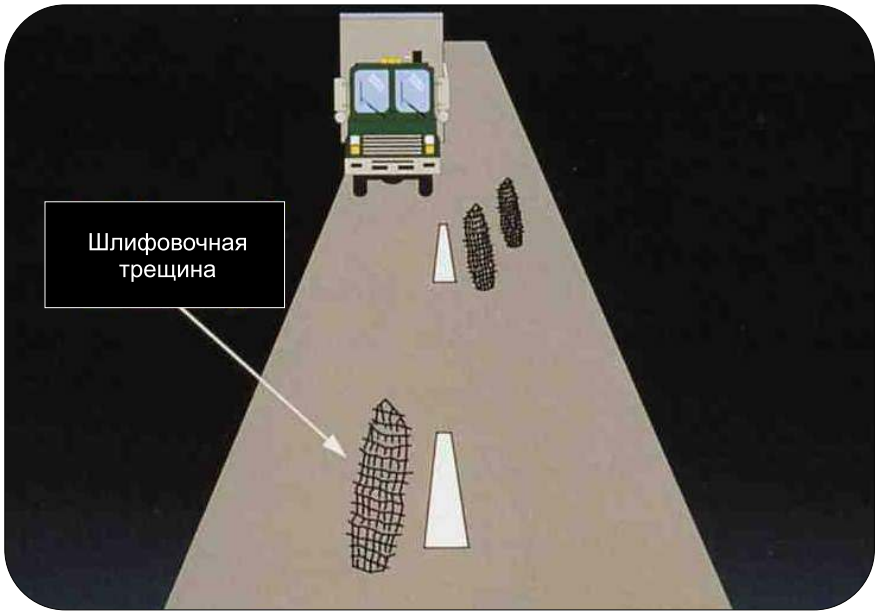

Рисунок 2

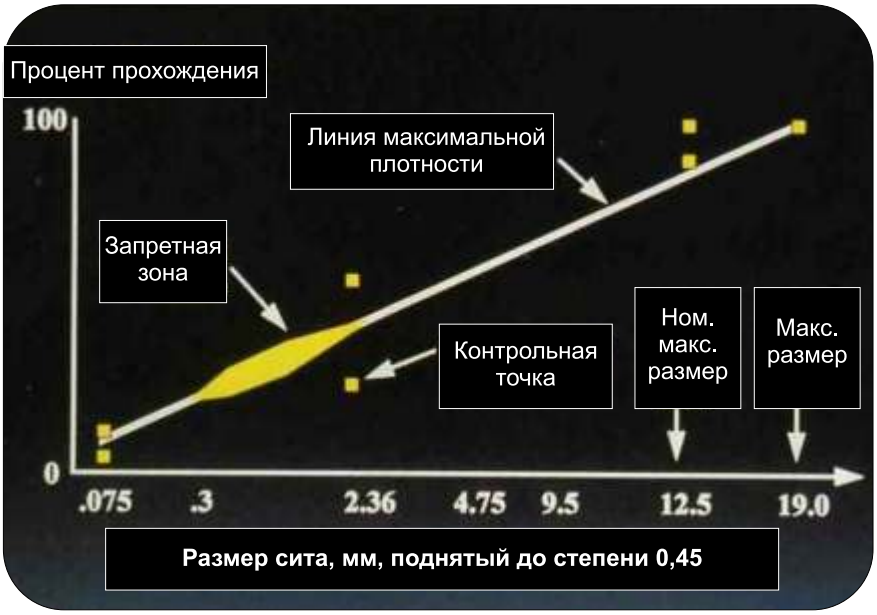

Рисунок 3

Существует бесконечное множество переменных в различных типах заполнителей, комбинациях заполнителей и различных вяжущих материалах, используемых при создании асфальтовых дорог. Для строительства асфальтовых дорог использовался известняк, гранит, базальт, гравий, диабаз, песчаник и другие материалы. Возможность использования вторичного сырья добавляет такие пере-

Рисунок 4

Рисунок 5

менные, как дробленый бетон, черепица, стекло, пластик и шины в список продуктов, которые могут входить в горячую асфальтовую смесь. В мире существует более 100 сортов сырой нефти, и каждый сорт дает немного иное битумное вяжущее вещество. Все эти переменные сильно затрудняют моделирование и точное предсказание качества полотна.

Система ПСИА разработала новый метод проектирования смеси, названный "Суперпэйв" (Superpave). Состав смеси Суперпэйв основан на измерении объемов, а для определения требуемого гранулометрического состава использует график FHWA (Федеральной Дорожной Администрации) со степенью 0.45 (Рисунок 3). Одной важной особенностью данного графика является линия максимальной плотности, построенная на основе максимального размера заполнителя. Также имеется запретная зона, установленная в качестве предположительной направляющей, через которую не должен проходить расчетный гран. состав. Линия максимальной плотности представляет собой гранулометрический состав, в котором частицы наполнителя соединены вместе максимально тесно друг к другу. Если смесь разработана с такой плотностью, между частицами не будет достаточно пространства для необходимого битумного вяжущего или воздушных полостей. Номинальный максимальный размер заполнителя на один размер больше первого сита, чтобы удержать более 10%. Максимальный размер больше на один размер сита, чем номинальный максимальный размер. Суперпэйв также определяет контрольные точки и запретную зону. Контрольные точки установлены для номинального максимального размера, промежуточного размера и размера пыли. Они служат в качестве главных диапазонов, через которые должен проходить смешанный гранулометрический состав. Запретная зона была установлена для ограничения количества мелкого песка в смеси. Наличие мелкого песка может дать смесь, которую трудно уплотнить, и может снизить сопротивляемость к необратимой пластической деформации. Смеси выше линии максимальной

плотности мельче, чем те, которые расположены ниже этой линии. Более мелкие сорта смеси подобны тем, которые производились в Соединенных Штатах в течение последних двух десятилетий. Считалось, что смеси ниже линии максимальной плотности могли бы быть более устойчивы к образованию выбоин, но из-за крупности материала со многими такими смесями возникли различные проблемы.

Существует некоторое сходство между тем, как смеси изготовляются, уплотняются и испытываются в лаборатории и в реальной практике. После укладки и уплотнения дорожное движение и нагрузка, которой подвергается полотно, часто сильно отличаются от тестовых процедур, используемых в лабораторных условиях для предсказания срока службы покрытия.

В течение последних 15 лет в Европе были разработаны колесные тестовые устройства, такие, как гамбургский и французский аппараты колесного тестирования под нагрузкой. В Соединенных Штатах для оценки качества полотна и измерения постоянной деформации или образования колейности были разработаны колесный нагрузочный измеритель Джорджии (Рисунок 4) и Анализатор асфальтового покрытия (Рисунок 5).

В 1985 году Департамент транспорта штата Джорджии начал исследовательский проект №8503 "Разработка упрощенного метода испытаний для предсказания характеристик образования колейности асфальтовых смесей", предназначенный для завершения начального проектирования колесного нагрузочного измерителя Джорджии (Рисунок 6). Прототип был модифицированным вариантом измерителя Slurry Seal, работавшего при следующих условиях:

- Давление шин: 5,2 и 6,9 бар
- Температура: 35°C и 40°C
- Нагрузка: 23 кг, 34 кг и 45 кг

Было доказано, что нагрузочный колесный тестер может успешно

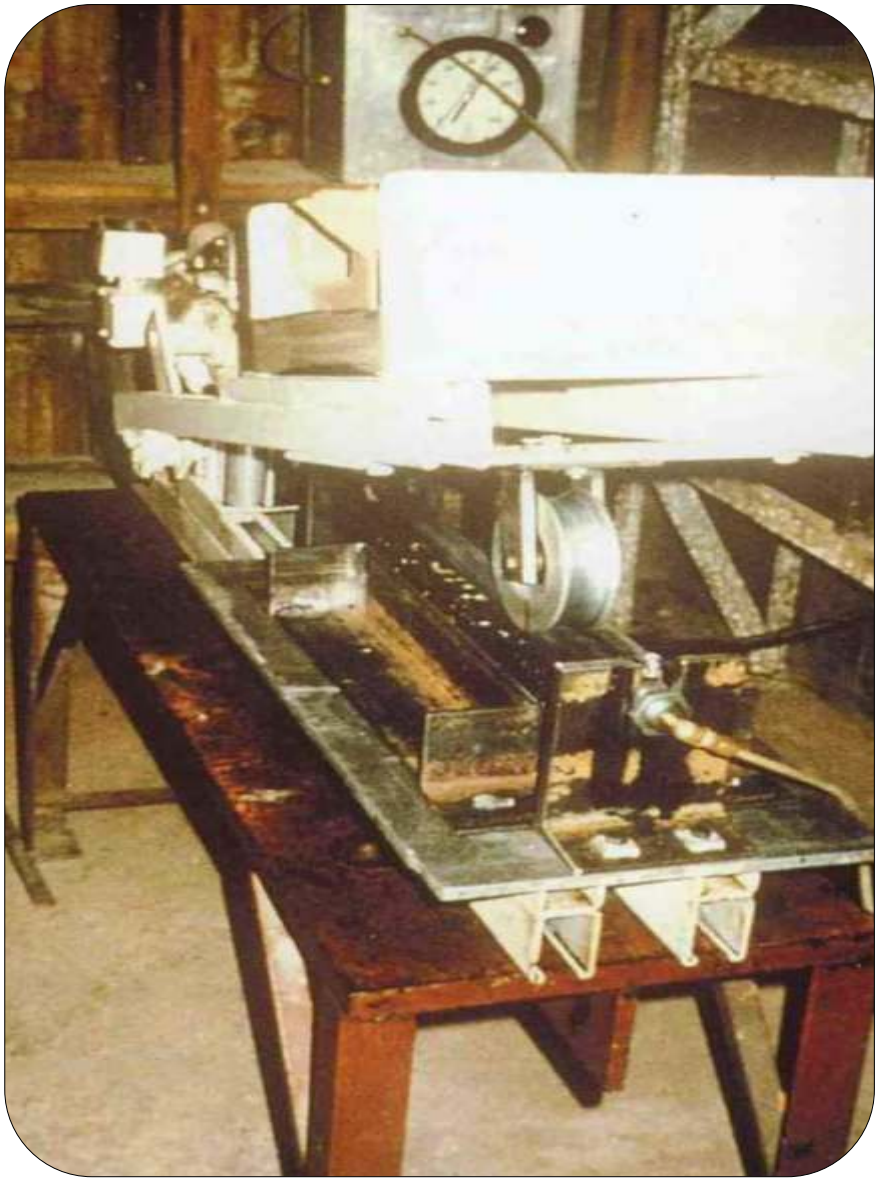

Рисунок 6

Рисунок 7

Рисунок 8

Рисунок 9

использоваться для оценки перспектив образования выбоин на образцах асфальтовых смесей. Прототип был позднее усовершенствован таким образом, что он мог нести одновременно три образца и обеспечивать лучшее управление температурой измерений (Рисунок 7). Этот модифицированный нагрузочный колесный измеритель штата Джорджия привлек большое внимание исследователей, как дополнение к традиционным средствам проектирования смесей. Были начаты несколько проектов для полной реализации возможностей этой концепции. Самой последней версией нагрузочного колесного измерителя штата Джорджия является Анализатор асфальтового покрытия (ААП) (Рисунок 8).

ААП является многофункциональным нагрузочным колесным тестером, который успешно использовался для оценки необратимой деформации, усталостного растрескивания и восприимчивости к влажности, как для горячих, так и для холодных асфальтовых смесей.

ААП может тестировать как прямоугольные, так и цилиндрические образцы. Можно тестировать приготовленные в лабораторных условиях образцы, включая те, которые были изготовлены с помощью гираторного уплотнителя, или образцы из полотна дорог (Рисунок 9). На рисунке 10 показан вырезанный из полотна образец, залитый в гипсовую форму для восстановления целостности размеров. Тенденции необратимой деформации могут быть определены по трем балочным образцам, шести цилиндрическим образцам или комбинации обоих способов. Тесты на необратимую деформацию проводятся при контролируемой температуре среды (30-70°C), в сухом или погруженном в воду состоянии. На рисунке 11 показаны два балочных образца, испытываемых в сухих условиях. Каждый образец независимо нагружен весом до 118 кг, что позволяет тестировать каждый образец (комплект из двух образцов в случае цилиндрических образцов) при разных нагрузках. Можно моделировать давление шин до 8,3 бара, причем дополнительно возможно

установить давление до 13,8 бар (Рисунок 12). Также возможна установка автоматической системы измерения глубины колеи для построения графика деформации в зависимости от циклов или времени (Рисунок 13).

ААП может определять усталостное сопротивление смеси с минимальным изменением от заданной необратимой деформации. Резиновый шланг, используемый при измерении необратимой деформации, снимается, и вогнутое колесо меняется на стальное. Балка помешается на опоры с обоих концов с резиновой подушкой в середине, чтобы компенсировать собственный вес балки. Это предохраняет от сдвига под собственным весом. На верхние края балки устанавливаются скобы, чтобы предотвратить скручивание. Тест проводится при контролируемой температуре среды 5-30°С. Каждый образец может быть независимо нагружен весом до 118 кг и с контактным давлением свыше 8,3 бара. Под низом каждой балки устанавливается тензометрический датчик. Когда датчик разрушается, что свидетельствует об образовании трещины в балке, образец автоматически разгружается и останавливается счетчик циклов нагрузки. Когда разрушаются все три образца, машина автоматически отключается. На рисунке 14 показана схема усталостного теста.

С помощью ААП можно также определять чувствительность смеси к воде. Это достигается проведением теста на образование колейности как на сухих, так и на предварительно подготовленных образцах. Подготовленные образцы при проведении испытаний погружаются в воду (Рисунок 15). Этот метод хорошо соответствует стандарту оценки чувствительности к влаге AASHTO T-283.

Было проведено множество исследований, в которых колесный нагрузочный тестер использовался для оценки параметров горячей асфальтовой смеси. Исследования также оценивали приемлемость тестера. В некоторых исследованиях эти результаты проверялись с помощью полевых испытаний. Также исследовалось и документировалось тестирование

Рисунок 10

Рисунок 11

на усталость и чувствительность к влаге с использованием колесного нагрузочного тестера. Эти исследования проводились многими различными агентствами и включали несколько проектов доктора Джеймса Лэя в Технологическом институте штата Джорджия.

КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Была обнаружена хорошая корреляция между прогнозами образования колейности с помощью ААП и реальными результатами службы асфальтово-бетонного покрытия. Например, исследование с целью оценки колесного нагрузочного тестера штата Джорджия проводились в 1991 году Департаментом транспорта штата Флорида. Были выбраны три разных типа асфальтово-бетонной смеси. Эти три типа ранее использовались в дорожных проектах и показали разную степень устойчивости к образованию колейности. Заполнитель для этих трех смесей был получен из оригинальных источников, и для всех трех смесей использовалось стандартное вяжущее вещество типа А-20, отвечающее спецификациям оригиналь ных смесей. На всех трех смесях были проведены тесты на образование колейности с помощью нагрузочного колесного тестера штата Джорджия и простые тесты на сдвиг с помощью гираторного тестера Инженерного корпуса (армии США). Затем проводилось сравнение между реальными эксплуатационными характеристиками данных трех смесей и лабораторными предсказаниями, основанными на использовании тестеров Джорджии и Инженерного корпуса. Сравнение показало хорошую корреляцию между возникновением колейности, предсказанным по результатам испытаний с помощью тестера Джорджии и реальным возникновением колейности на полотне. Данные три смеси по результатам тестирования с помощью тестера Джорджии были правильно ранжированы. Тест устойчивости Маршала не дал правильного определения распределения смесей по их прочности (Таблица 1).

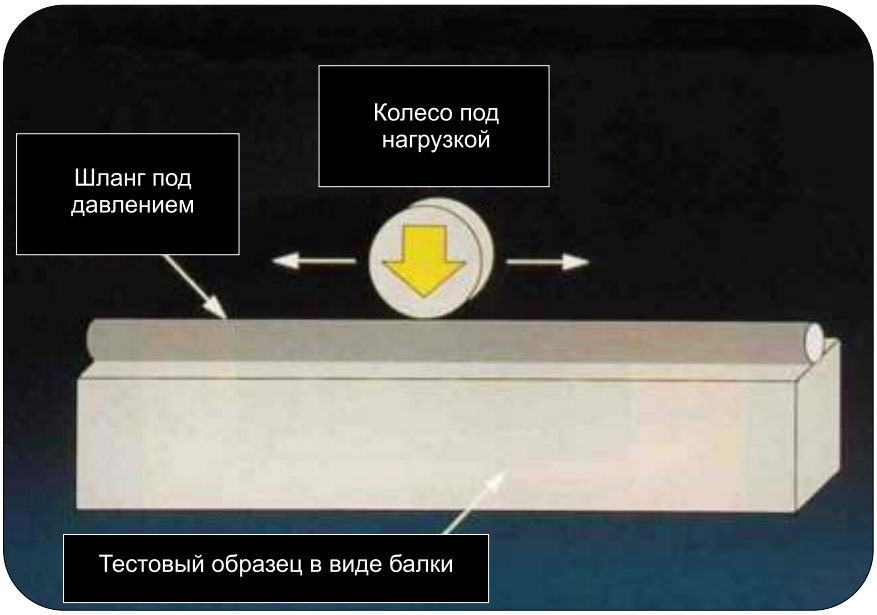

Рисунок 12

Рисунок 13

В 1991 году Департамент транспорта штата Джорджия начал полевые оценки трех асфальтовых смесей (Исследовательские проекты 9101 и 9102). Укладывались различные комбинации нижнего и верхнего слоев. Смеси состояли из обычного плотного асфальта, ЩМА и крупнозернистой смеси. Магистраль 85, округ Джексон, Джорджия, пропускает ежегодно примерно 2 миллиона ESALs (эквивалентных нагрузок от одной оси), именно она и была выбрана в качестве тестовой площадки. Примерно 40% потока на этой дороге составляют грузовики. Были построены семь различных участков, каждый длиной в 800 метров. Оценивались три типа верхнего слоя: 12,5 мм ЩМА, 19 мм обычная плотная смесь и 19 мм крупнозернистая. На тестовом участке также было также три типа нижнего слоя: 19 мм ЩМА, 25 мм обычная плотная смесь и 25 мм крупнозернистая. Кроме того, на некоторых участках использовались два различных типа слоя износа - традиционного открытого типа (тип D) и пористая европейская смесь. Процесс образования колейности на

Таблица 1. Сравнительные данные по различным методам испытаний

Классификация	Глубина колейности в реальности	Глубина колейности по тесту ААП	Гираторный сдвиг	Устойчивость Маршалла
Смесь B	1	1	3	2
Смесь D	2	2	2	3
Смесь C	3	3	1	1

Таблица 2. Усредненные измерения колейности покрытия, мм

	Необратимая деформация, измеренная в лаборатории	Необратимая деформация, прогнозируемая	Необратимая деформация, измеренная на дороге	Классификация
ЩМА	1,1	1,7	2,5	1
ЩМА, 12,5 мм	2,0	3,1	2,5	1
Обычная, 19 мм	4,0	6,3	5,6	2
Обычная, 19 мм	4,0	6,3	6,4	2
Крупнозернистая	6,4	10,2	10,7	3

этих тестовых участках контролировался Департаментом транспорта Джорджии с 1991 года. Результаты полевых испытаний смесей сравнивались с результатами тестов ААП. Результаты тестов ААП соответствовали результатам р еальной эксплуатации смесей, т.е. смеси, показывавшие меньше колейности в реальных условиях, по результатам тестов ААП также были мене подвержены образованию колейности. Это демонстрирует возможности ААП определять перспективы образования колейности на покрытиях из горячей асфальтовой смеси и точно ранжировать различные асфальтовые смеси по их чувствительности к образованию колейности.

Полевые результаты пяти смесей и соответствующих лабораторных испытаний с помощью ААП были использованы для построения корреляции (Таблица 2). Глубина всех выбоин на реальной дороге была приведена к 13,6 миллионам ESALs (эквивалентных нагрузок от одной оси).

Тестер Джорджии использовался для определения усталостных свойств горячей асфальтовой смеси. Размер балочного образца, нагрузочная и колесная система, а также контрольная система остались с испытаний на колейность. Главное различие в конфигурациях теста на усталость и на образование колейности заключалось в условиях опоры балки. Балка покоилась на концевых упорах с подушкой из мягкой резины снизу для компенсации веса балки. Реактивная вертикальная нагрузка снизу вверх резиновой подушки устанавливалась пренебрежимо малой и поэтому служила только для предотвращения смещения балки под собственной тяжестью. На нижней поверхности балки крепился тензометрический

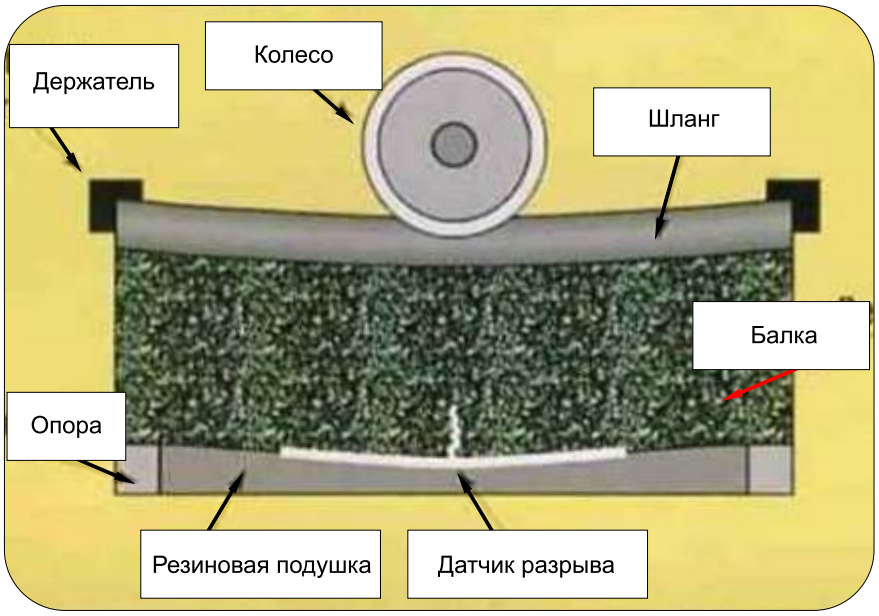

Рисунок 14

датчик разрыва из тонкой проволоки №40. Проволока была подключена к электрической цепи. При начале образования усталостной трещины проволока разрывалась, и цепь размыкалась, останавливая счетчик. После разрушения всех трех балок тест прерывался.

Было проведено по три испытания двадцати восьми типов асфальтовой смеси. Исследование показало, что во многих случаях усталостный срок службы обычных смесей дольше, чем у смесей Superpave. Большое количество воздушных полостей оказывали значительное влияние как на Superpave, так и на обычные смеси. Модифицированные полимерные смеси имели существенно большую усталостную долговечность, чем обычные смеси с тем же заполнителем.

Ухудшение горячих асфальтовых смесей вследствие разрушительного воздействия влажности приводит к потере прочности из-за ослабления связи между вяжущим и заполнителем. Постепенная потеря прочности связи из-за влажности может привести к увеличению необратимой деформации. Эта необратимая деформация может быть измерена как показатель влияния влажности (чувствительности к влажности) на эксплуатационные свойства горячей асфальтовой смеси.

Совместными усилиями Департамента транспорта Джорджии и Технологического института Джорджии были разработаны спецификации теста на чувствительность к влаге с помощью ААП.

Каждая смесь испытывалась с и без 1% гашеной извести. Были приготовлены шесть образцов в виде цилиндров диаметром 150 мм для каждого из следующих условий: сухой контроль, условия вакуумного насыщения и условия замерзания/оттаивания. В каждой из этих трех категорий четыре образца использовались для тестов на образование выбоин, а два образца использовались для определения коэффициента предела прочности на разрыв (AASHTO T283). Для каждой смеси были приготовлены также шесть образцов диаметром 100 мм. Они были необходимы для испытаний коэффициента предела прочности на разрыв (GDT-66), включающего цикл замерзания/оттаивания.

Циклические испытания с помощью ААП по критерию образования колейности показывают хорошую корреляцию с тестом GDT-66 для образцов, подвергнутых вакуумному насыщению и замораживанию/оттаиванию. Для выбранных смесей тест ООТ-66 более точно соответствует полевым результатам, чем АА8НТО Т283 (с вакуумным насыщением и замерзанием/оттаиванием)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предсказание эксплуатационных характеристик горячих асфальтовых смесей было и остается сложным делом. Разработка методов точного предсказания эксплуатационных характеристик горячей асфальтовой смеси может потребовать еще многих лет. Требуется какая-то гарантия, чтобы избежать ситуации, при которой значительные средства вкладываются в асфальтовое покрытие только для того, чтобы после начала движения убедиться, что покрытие не отвечает ожиданиям.

Анализатор асфальтового покрытия может ранжировать эксплуатационные свойства смесей в лаборатории ДО дорогостоящих сюрпризов, выявляющихся в реальных условиях. ААП также является ценным прибором контроля качества для оценки смесей в ходе производственного процесса. ААП даст пользователю разумную уверенность в поведении асфальтовой смеси, так что можно будет избежать преждевременного разрушения.