ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
«РОССИЙСКИЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «АВТОДОР»)

П Р И К А З

05 сентября 2013г. **Москва** №179

Об утверждении и введении в действие стандарта Государственной компании «Российские автомобильные дороги» СТО АВТОДОР 10.1-2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения»

В целях организации работ по оценке состояния слоев дорожной конструкции на этапе эксплуатации и при разработке проектов реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги» ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Утвердить и ввести в действие с даты утверждения настоящего приказа стандарт Государственной компании «Российские автомобильные дороги» СТО АВТОДОР 10.1-2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения».
2. Утвердить прилагаемый План мероприятий по внедрению стандарта организации СТО АВТОДОР 10.1-2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения».
3. Руководителям структурных подразделений Государственной компании «Российские автомобильные дороги» обеспечить реализацию мероприятий в соответствии с п. 2 настоящего приказа.
4. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на члена правления – первого заместителя председателя правления по технической политике И.А. Урманова.

Председатель правления С.В. Кельбах

Ильин Сергей Владимирович
Тел. 33-07

УТВЕРЖДЕН
приказом Государственной компании
«Российские автомобильные дороги»
от «05» 09 2013 г. № 479

ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ

по внедрению стандарта Государственной компании «Российские автомобильные дороги» СТО АВТОДОР 10.1-2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения»

Подразделения-заказчики разработки Стандарта: Департамент проектирования, технической политики и инновационных технологий (ДПТПиИТ)

Разработчик Стандарта: Институт проблем дорожно-транспортного комплекса Ростовского государственного строительного университета («ДорТрансНИИ» РГСУ)

№ п/п	Наименование мероприятия	Ответственное подразделение	Участники работ	Сроки проведения
1	Информирование структурных подразделений об утверждении СТО АВТОДОР 10.1-2013 «Определение модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установки ударного нагружения» (далее – Стандарт)	ДПТПиИТ	Структурные подразделения	3 дня с даты утверждения Стандарта
2	Публикация на сайте Государственной компании: - информации об утверждении Стандарта; - текста утвержденного Стандарта	Отдел по связям с общественностью ДПТПиИТ	Отдел по связям с общественностью	5 дней с даты утверждения Стандарта
3	Включение требований Стандарта в договоры на проектирование ремонтов и капитальных ремонтов, выполнение работ по диагностике автомобильных дорог	ДЭиБДД ДПТПиИТ	ДЭиБДД ДПТИиИТ	На постоянной основе с даты утверждения Стандарта
4	Проведение динамического мониторинга состояния участков автомобильных дорог Государственной компании, определенных по результатам оценки остаточного ресурса в соответствии с СТО АВТОДОР 2.4-2013 ««Оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги»	ДЭиБДД	ДПТПиИТ филиалы и территориальные управления	С даты утверждения Стандарта – до 31.12.2013

УТВЕРЖДЕН
приказом Государственной компании
«Российские автомобильные дороги»
от «05» 09 2013 г. № 179

Стандарт Государственной компании «Автодор»

СТО АВТОДОР 10.1 - 2013

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ СЛОЕВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

Москва 2013

Предисловие

1. РАЗРАБОТАН: Институтом проблем дорожно-транспортного комплекса Ростовского государственного строительного университета («ДорТрансНИИ» РГСУ)

2. ВНЕСЕН: Департаментом проектирования, технической политики и инновационных технологий Государственной компании «Автодор».

3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: приказом Государственной компании «Российские автомобильные дороги» от «___» _____ 2013 г. №_____ с _____.

4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без письменного разрешения Государственной компании «Российские автомобильные дороги».

Содержание

1 Область применения 4

2 Нормативные ссылки 4

3 Термины, определения и сокращения 5

4 Общие положения 6

5 Экспериментальная регистрация чаши динамических прогибов дорожной конструкции 9

6 Расчет чаши динамических прогибов дорожной конструкции 12

7 Определение модулей упругости слоев дорожной конструкции на текущем этапе эксплуатации 14

Приложение 1 16

Приложение 2 17

Приложение 3 18

Приложение 4 22

Стандарт Государственной компании «Автодор»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ СЛОЕВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

EVALUATION OF THE ELASTIC MODULI OF LAYERS OF THE EXPLOITED PAVEMENT USING THE FWD

1 Область применения

1.1 Действие настоящего стандарта распространяется на оценку модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций (нежестких дорожных одежд) автомобильных дорог, находящихся в доверительном управлении Государственной компании «Российские автомобильные дороги» (далее-Государственная компания).

1.2 Стандарт определяет метод оценки модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций с использованием установок ударного нагружения типа FWD.

1.3 Стандарт предназначен для применения подрядными организациями на стадии разработки проектов реконструкции и капитального ремонта, структурными подразделениями Государственной компании при средне- и долгосрочном планировании.

1.4 Стандарт является составной частью системы управления состоянием автомобильных дорог Государственной компании, в основе которой лежит оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций в соответствии с СТО АВТОДОР 2.4-2013 «Оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

Свод правил СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02.-85*;

ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд;

ОДН 218.0.006-2002 Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог;

ОДН 218.1.052-2002 Оценка прочности нежестких дорожных одежд;

European COST 336 Использование FWD для оценки дорожных конструкций;

ASTM D 4694-03 Стандартный метод оценки перемещений при воздействии импульсной нагрузки от падающего груза различных устройств;

СТО АВТОДОР 2.4-2013 «Оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги»

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменён (изменён), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменённым (изменённым) документом. Если ссылочный документ отменён без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

Дорожная одежда - многослойное искусственное сооружение, ограниченное проезжей частью автомобильной дороги, состоящее из дорожного покрытия, слоев основания и подстилающего слоя, воспринимающая многократно повторяющееся воздействие транспортных средств и погодно-климатических факторов и обеспечивающее передачу транспортной нагрузки на верхнюю часть земляного полотна.

Дорожная конструкция – инженерное сооружение, состоящее из дорожной одежды и верхней части земляного полотна в пределах рабочего слоя.

Экспериментальная чаша динамических прогибов – экспериментальные максимальные вертикальные деформации, регистрируемые в ряде точек на поверхности покрытия дорожной конструкции при ударном нагружении

Расчетная чаша динамических прогибов – максимальные вертикальные деформации, рассчитываемые в ряде точек на поверхности покрытия дорожной конструкции на основе моделей динамического напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций.

Расчетный период года - наиболее неблагоприятный по условиям увлажнения период года (обычно весенний), в течение которого прочность дорожных конструкций достигает минимального значения.

НДС (напряженно-деформированное состояние) – совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих в дорожной конструкции при действии на неё транспортных нагрузок, температурных полей и других факторов.

FWD (Falling weight deflectometer) – установки, осуществляющие ударное нагружение посредством воздействия падающего груза, позволяющие производить экспериментальную регистрацию чаш прогибов на поверхности дорожной конструкции.

4 Общие положения

4.1 Оценка модулей упругости конструктивных слоев дорожных конструкций базируется на аналитико-эмпирическом методе, включающем в себя три основных этапа: экспериментальную регистрацию чаши динамических прогибов дорожной конструкции, расчет чаши динамических прогибов дорожной конструкции, определение модулей упругости слоев дорожной конструкции на текущем этапе эксплуатации.

4.2 Экспериментальная регистрация чаш динамических прогибов на поверхности покрытия осуществляется с использованием установок ударного нагружения типа FWD (Приложение 1).

4.3 Расчет чаши динамических прогибов дорожной конструкции осуществляется на основе статических и динамических механико-математических моделей для анализа напряженно-деформированного состояния многослойных сред.

4.4 Определение модулей упругости слоев дорожной конструкции на текущем этапе эксплуатации осуществляется путем сопоставления и последующей корректировки (на основе численных методов) расчетной чаши динамических прогибов относительно экспериментальной.

4.5 Процедуры расчета чаши динамических прогибов дорожной конструкции и последующего сопоставления и корректировки расчетной чаши динамических прогибов относительно экспериментальной реализованы в специализированных программных комплексах для определения модулей упругости слоев дорожных конструкций (Приложение 2).

4.6 Алгоритм аналитико-эмпирического метода оценки модулей упругости конструктивных элементов эксплуатируемых дорожных конструкций приведен на рисунке 1.

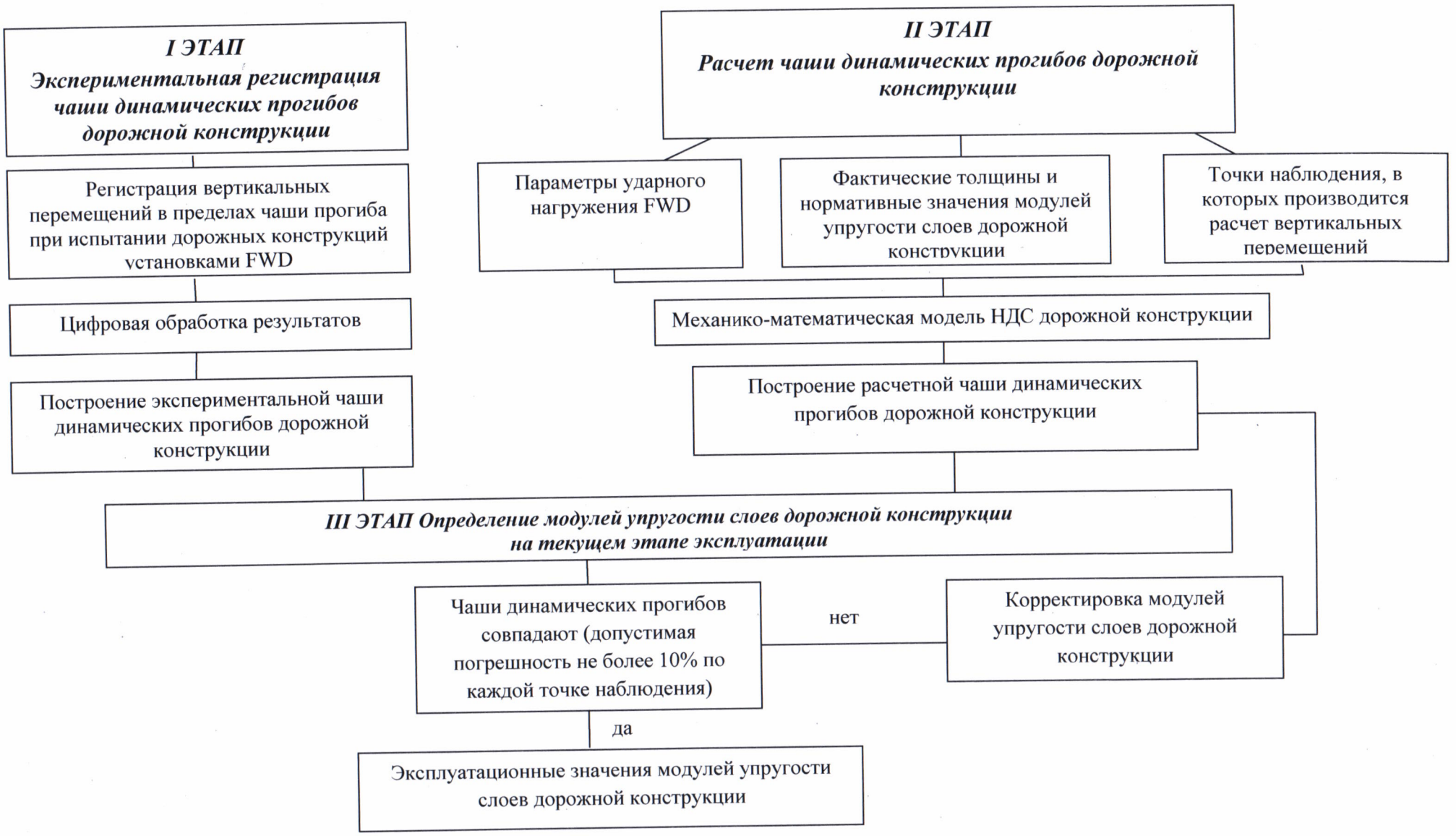


Рисунок 1 – Алгоритм аналитико-эмпирического метода оценки модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций

5 Экспериментальная регистрация чаши динамических прогибов дорожной конструкции

5.1 Описание и требования к применяемому оборудованию

5.1.1 Установка FWD представляет собой одно- или двухосный прицеп, включающий в себя механизм ударного нагружения (1) и датчики-геофоны (2), расположенные на различном удалении от точки приложения нагрузки (рисунок 2). Установка FWD предназначена для регистрации экспериментальной чаши максимальных динамических прогибов дорожной конструкции при ударном нагружении.

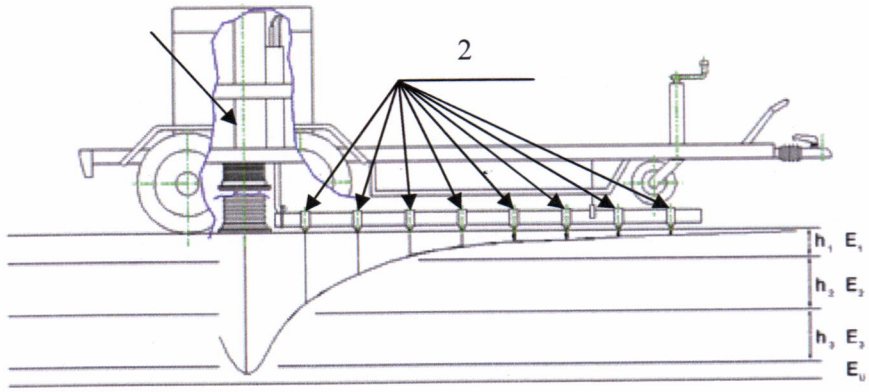


Рисунок 2 – Экспериментальная чаша динамических прогибов

5.1.2 Максимальная нагрузка, прикладываемая к асфальтобетонному покрытию дорожной конструкции составляет 50±5 кН.

5.1.3 Длительность приложения импульса нагружения при воздействии установки FWD на поверхность покрытия дорожной одежды составляет 0,03 с.

5.1.4 Ударная нагрузка передается на поверхность асфальтобетонного покрытия дорожной конструкции через круглый штамп диаметром 300 мм.

5.1.5 В качестве расстояний для установки датчиков-измерителей прогиба от точки приложения нагрузки принимается следующая конфигурация: 0 – 200 – 300 – 450 – 600 – 900 – 1200 – 2500 мм от точки ударного воздействия Минимально допустима установка 4 датчиков измерителей прогиба на расстояниях 0 - 300 – 600 – 900 мм от точки ударного воздействия.

5.1.6 Чувствительность применяемых датчиков-геофонов должна составлять не менее 0,001 мм.

5.1.7 При измерении температуры асфальтобетонных слоев покрытия дорожной конструкции, должно применяться высокоточное оборудование, обеспечивающее погрешность измерений не более 1°С, в диапазоне 0°С до +50°С.

5.2 Подготовительные работы к определению экспериментальной чаши динамических прогибов дорожной конструкции

5.2.1 При подготовке к проведению измерений необходимы следующие данные:

- местоположение и длина участка проведения испытаний;
- категория автомобильной дороги;
- ширина и количество полос движения в каждом направлении;
- проектные данные о дорожной конструкции (толщины слоев, модули упругости слоев);
- наличие и характер укрепления обочин.

5.2.2 Вышеперечисленные данные могут быть получены из проектной документации или по данным технического паспорта на обследуемый участок автомобильной дороги.

5.2.3 При отсутствии проектных данных о толщинах слоев дорожной одежды производят их определение методом георадарного зондирования. При этом для калибровки георадарной установки производят выборочное бурение на всю толщину дорожной одежды с захватом части рабочего слоя земляного полотна.

5.2.4 Точность измерения слоев дорожной одежды должна составлять не более 10 % от толщины измеряемого слоя.

5.3 Проведение измерений с использованием установки FWD

5.3.1 Испытания дорожных конструкций рекомендуется проводить в течение расчетного периода года.

5.3.2 При проведении измерений для повышения точности получаемых результатов необходимо соблюдать следующие основные требования:

5.3.2.1 Один раз в месяц необходимо проведение калибровки датчика пройденного пути, смонтированного на FWD. Для проведения калибровки необходимо осуществить тестовый проезд по заранее размеченному эталонному участку длиной 1 км (калибровка производиться в автоматическом режиме средствами программного обеспечения установки FWD).

5.3.2.2 Перед началом проведения испытаний необходимо произвести калибровку установки FWD, состоящую в проведении серии тестовых ударных испытаний, в ходе которых производится подбор высоты сброса груза, для обеспечения итоговой нагрузки на покрытие 50 кН и времени действия импульса нагружения, составляющего 0.03 с (функция автоматической калибровки установки FWD существует в специализированных программных комплексах, поставляемых с данными установками).

5.3.2.3 Каждый час рекомендуется осуществлять проведение замеров температуры в специально подготовленном отверстии в покрытии дорожной одежды на глубине 5 см в пределах полосы наката.

5.3.2.4 Необходимо визуально убедиться, что поверхность штампа нагружения установки ударного нагружения FWD находится в полном контакте с поверхностью дорожной конструкции.

5.3.3 Испытание дорожной конструкции установкой ударного нагружения типа FWD производится на расстоянии одного метра от границ полос движения автомобильной дороги (как по правой, так и по левой полосам), в обоих направлениях движения в шахматном порядке (рисунок 3).

5.3.4 Расстояния между точками проведения испытаний по каждому из направлений движения не должно превышать 100 м.

Рисунок 3 – Схема проведения измерений с использованием установки ударного нагружения FWD на 4-х полосной автомобильной дороге

5.3.5 На каждой точке измерений необходимо выполнить не менее трех циклов ударного нагружения.

5.3.6 Для каждой точки измерения необходимо сохранять следующие данные:

- пикетажное положение;
- полоса движения, на которой производятся испытания;
- количество циклов нагружения;
- время проведения испытаний;
- температура покрытия дорожной конструкции, на глубине 5 см;
- максимальные значения нагрузки и вертикальных перемещений.

5.3.7 Сбор, обработка и хранение экспериментальных данных осуществляется с использованием специализированных программных комплексов.

5.3.8 Результатом испытаний по каждой точке нагружения являются экспериментальные чаши динамических прогибов дорожных конструкций.

6 Расчет чаши динамических прогибов дорожной конструкции

6.1 Расчет чаш прогиба выполняется путем моделирования НДС дорожной конструкции при нагрузке соответствующей параметрам нагружения установки FWD.

6.2 В ходе численного моделирования НДС дорожной конструкции задается комплекс входных данных, включающий в себя:

– нормативные значения модулей упругости слоев дорожной одежды и их толщины;
– параметры нагружения (масса груза, высота падения груза, диаметр штампа);
– точки наблюдения деформирования поверхности дорожной конструкции.

6.3 При моделировании напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции информация о толщинах слоев дорожной одежды принимается в соответствии с проектными данными, либо результатами георадарного зондирования (при отсутствии проектных данных), полученными в ходе подготовительных работ по определению экспериментальной чаши динамических прогибов дорожной конструкции. Нормативные значения модулей упругости грунта земляного полотна, материалов основания дорожной конструкции и асфальтобетонных слоев (в зависимости от температуры покрытия на момент проведения испытаний) принимаются в соответствии с Приложением 3.

6.4 Нормативные значения модулей упругости слоев асфальтобетона приводятся к времени приложения нагрузки FWD. Коэффициенты приведения нормативных значений модулей упругости слоев асфальтобетона к расчетным значениям с учетом времени приложения нагрузки FWD приведены в таблице 1.

6.5 Параметры нагрузки при моделировании задаются аналогично уровню нагружения, при котором производится экспериментальное обследование дорожных конструкций.

6.6 При построении расчетной чаши динамических прогибов задаются точки наблюдения на поверхности дорожной конструкции, в которых производится вычисление максимальных значений вертикальных перемещений точек поверхности дорожной конструкции, формирующих чашу прогиба. Координаты точек наблюдения должны соответствовать местоположению датчиков-регистраторов прогиба при проведении экспериментальных замеров.

Таблица 1

Коэффициенты приведения нормативных модулей упругости асфальтобетона к времени воздействия установки FWD

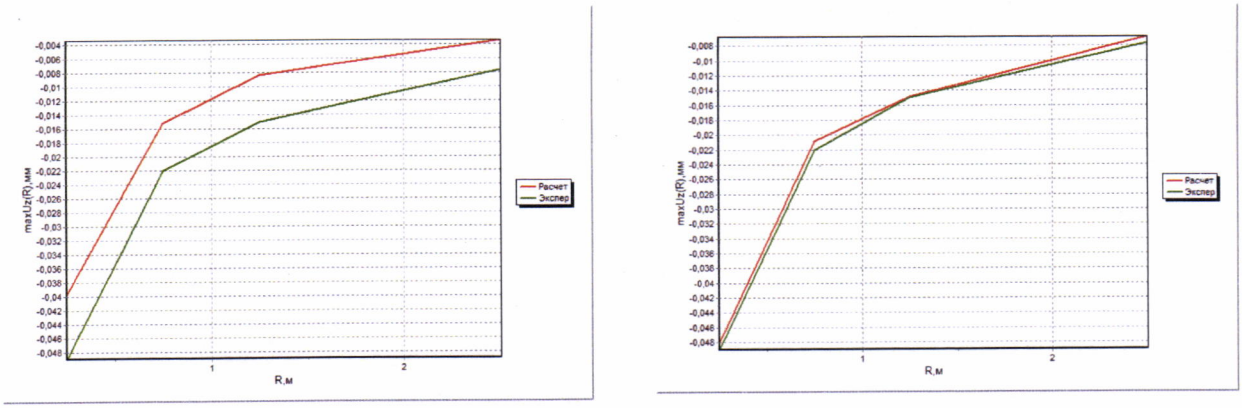
Температура слоев покрытия, °С ** / Отношение модулей упругости * $\frac{E_t}{E_T}$	$\frac{E_{t=0.1}}{E_{T=0.03}}$
0	***0.83***
10	***0.78***
20	***0.74***
30	***0.71***
40	***0.70***

* $E_{t=0.1}$ - нормативное значение модуля упругости асфальтобетона принятое по ОДН 218.046-01, при времени нагружения t=0,1 с; $E_{T=0.03}$ - расчетное значение модуля упругости асфальтобетона при фактической длительности нагружения при использовании установок FWD.

** Для промежуточных значений температуры проведения испытаний значения коэффициентов приведения следует получать путем интерполяции.

7 Определение модулей упругости слоев дорожной конструкции на текущем этапе эксплуатации

7.1 После построения расчетной чаши максимальных динамических прогибов производится ее сопоставление с экспериментальной чашей, зарегистрированной установкой FWD. В случае, если отклонение между значениями вертикальных перемещений в пределах чаш прогибов по каждому из датчиков превышает 10 %, производится их корректировка, с одновременным пересчетом модулей упругости слоев дорожной конструкции. Корректировка останавливается по достижении погрешности между значениями вертикальных перемещений не более 10 % (рисунок 4).



а) *б)*

Рисунок 4 - Расчетная и экспериментальная чаши максимальных динамических прогибов дорожной конструкции до (а) и после корректировки (б)

7.2 Выходными данными после корректировки чаш прогибов дорожной конструкции являются значения модулей упругости слоев покрытия, основания и грунта земляного полотна на стадии эксплуатации. Расчетные значения модулей упругости слоя асфальтобетона приводятся к времени нагружения 0,1 с и температуре 10°С для обеспечения возможности сопоставления расчетных значений модулей упругости слоев дорожных конструкций на стадии эксплуатации и проектных значений модулей упругости слоев асфальтобетона.

7.3 Результаты, полученные на основе аналитико-эмпирического метода оценки модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций позволяют:

- определить значение модуля упругости каждого слоя дорожной конструкции на стадии эксплуатации;
- определить значение фактического общего модуля упругости дорожной конструкции на поверхности любого слоя обследуемой дорожной конструкции на стадии эксплуатации;
- осуществить выбор рациональных ремонтных мероприятий, направленных в первую очередь на ликвидацию причины снижения несущей способности эксплуатируемой дорожной конструкции.

7.4 Пример оценки модулей упругости слоев дорожной конструкции на стадии эксплуатации приведен в Приложении 4.

Приложение 1

Таблица П.1.1

Установки FWD

Установка динамического нагружения	*Компания-производитель*	*Конструктивные особенности*	*Программы для регистрации результатов экспериментальных измерений*	*Форматы хранения экспериментальных данных*
FWD Dynatest 8000	Dynatest	Выпускается в двух видах: одноосный прицеп, и смонтированная на базе грузового автомобиля (Dynatest TMD). Снабжена комплектом измерительных датчиков - геофонов (от 7 до 9 штук) для регистрации чаши прогибов дорожной конструкции.	FWD WIN	.mdb
FWD PRIMAX 1500	Grontmij	Выпускается в двух видах: двухосный прицеп и смонтированная на базе грузового автомобиля. FWD Primax имеет модульную систему и может быть дооснащена до уровня установки HWD (Heavy Weight Deflectometer), предназначенной для испытаний аэродромных покрытий. Для регистрации чаши прогибов дорожной конструкции предусмотрено до 18 датчиков геофонов с одновременным считыванием информации.	Rosy Design	SQL
JILS FWD 20	Mechanic Foundation	Выпускается в двух видах: двухосный прицеп и смонтированная на базе грузового автомобиля. Для регистрации чаши прогибов дорожной конструкции предусмотрено до 9 датчиков – геофонов.	WaveTrac Software	PDDX (Pavement Data Deflection Exchange)

Приложение 2

Таблица П.2.1

Программные комплексы для оценки модулей упругости слоев эксплуатируемых дорожных конструкций

Программы	Типы дорожных конструкций	Метод корректировки чаш прогиба	Базовые модели анализа НДС дорожной конструкции
Evercalc 5.0	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Weslea)
Bousdef	Нежесткие	Метод абсолютной суммы	Линейно-упругая многослойная модель, (Метод Буссинеска)
Modcomp 5.0	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Многослойная линейно/нелинейно –упругая модель, (ChevLay2)
PEDD	Нежесткие	Метод минимизации абсолютных разностей	Линейно-упругая многослойная модель(Elsym 5)
Michback	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Chevron)
Umped	Нежесткие	Метод минимизации абсолютных разностей	Линейно-упругая многослойная модель (Chevron)
Elmod	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Метод Одемарка –Буссинеска (Метод эквивалентных толщин)
Modulus 5.0	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Линейно-упругая многослойная модель (Weslea)
Rosy Design	Нежесткие	Метод наименьших квадратов	Метод Одемарка –Буссинеска (Метод эквивалентных толщин)
АЭМ	Нежесткие	Метод последовательной корректировки	Аналитическая модель динамического НДС дорожной конструкции

Ряд программных комплексов поставляется непосредственно с установками FWD отдельных фирм производителей (в частности FWD Dynatest комплектуется программным комплексом ELMOD, а FWD Primax – программным комплексом ROSY DESIGN).

Приложение 3

Таблица П.3.1

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов в зависимости от температуры покрытия (в соответствии с ОДН 218.046-01)

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости *E*, МПа, при температуре покрытия, °С				
		+10	+20	+30	+40	+50 (60)
Плотный асфальтобетон и высокоплотный асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60; 60/90; 90/130	4400; 3200; 2400	2600; 1800; 1200	1550; 1100; 550	850; 650; 550	520; 460; 420
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60; 60/90; 90/130	2800; 2000; 1400	1700; 1200; 800	900; 700; 510	540; 460; 380	390; 360; 350

* Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре от 30 до 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10 %, а для крупнозернистых смесей - на 20 %.

** При расчете на упругий прогиб принимать при $t° = +10°$.

***Для промежуточных значений температуры на поверхности покрытия нормативные значения модулей упругости дорожной конструкции рассчитываются способом интерполяции.

****Для полимерно-дисперсно-армированных асфальтобетонов и асфальтобетонов на полимерно-битумном вяжущем значения кратковременных модулей упругости принимаются в соответствии с проектными данными.

18

Таблица П.3.2

Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных органическими и комплексными вяжущими

№ п.п.	Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости *E*, МПа
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального/неоптимального состава) обработанные:	
1.1	- жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными органическими вяжущими	450/350
1.2	- жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными	950/700

Таблица П.3.3

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами (в соответствии с ГОСТ 23558-94)

№ п.п.	Материал	Нормативные значения модуля упругости Е, МПа
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, крупнообломочные грунты (оптимальные/неоптимальные), обработанные цементом:	
	- соответствующие марке: 20	500/400
	40	600/550
	60	800/700
	75	870/830
	100	1000/950
2	То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим:	
	- соответствующие марке: 20	450/350
	40	550/500
	60	750/650
	75	870/780
	100	950/910

Таблица П.3.4

Конструктивные слои из активных шлаковых материалов*
(в соответствии с ГОСТ 3344-83)**

№ п/п	Материал	Нормативные значения модуля упругости *E*, МПа
1	Основание из подобранных оптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью зерен до 40 мм, уплотненных при оптимальной влажности	650-870
1.1	То же, из активных материалов	480-700
2	Основание из рядовых неоптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью 70 мм	450-650
2.1	То же, из активных материалов	370-480

* К высокоактивным материалам относятся материалы, имеющие прочность при сжатии от 5 до 10 МПа в возрасте 90 сут.; к активным материалам - материалы, имеющие прочность при сжатии от 2,5 до 5 МПа в том же возрасте.
** При применении шлаков (СШ) по СТО АВТОДОР 2.2-2011 «Смеси щебеночно-песчаные из металлургических шлаков для строительства слоев оснований и укрепления обочин автомобильных дорог. Технические условия» расчетные значения модуля упругости определяют по Приложению Б к СТО АВТОДОР 2.2-2011.

Таблица П.3.5

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных (в соответствии с ГОСТ 25607-94 и ГОСТ 3344-83)

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости, *E*, МПа
Щебеночные/гравийные смеси (С) для покрытий:	
- непрерывная гранулометрия (ГОСТ 25607-94) при максимальном размере зерен: $С_1$ - 40 мм	300/280
$С_2$ - 20 мм	290/265
Смеси для оснований - непрерывная гранулометрия: $С_3$ - 80 мм	280/240
$С_4$ - 80 мм	275/230
$С_5$ - 40 мм	260/220
$С_6$ - 20 мм	240/200
$С_7$ - 20 мм	260/180
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344-83)	
$С_1$ - 70 мм	275
$С_2$ - 70 мм	260
$С_4$ - 40 мм	250
$С_6$ - 20 мм	210

Таблица П.3.6

Щебеночные основания, устраиваемые методом заклинки (в соответствии с ГОСТ 25607-2009)

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости, *E*, МПа
Щебень фракционированный 40-80 (80-120) мм с заклинкой:	
- фракционированным мелким щебнем	450 350
- известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком	400 300
- мелким высокоактивным шлаком	450 400
- асфальтобетонной смесью	500 450
- цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,25-0,75 h слоя	450-700 350-600
* Для слоя: в числителе - из легкоуплотняемого щебня, в знаменателе - из трудноуплотняемого щебня	

Таблица П.3.7

Нормативные значения модулей упругости грунтов (в соответствии с ОДН 218.046-01)

Грунт	Модуль упругости, при относительной влажности W/W_m, МПа									
	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески:										
- крупные	130									
- средней крупности	120									
- мелкие	100									
- однородные	75									
- пылеватые	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
Супеси:										
- легкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
- пылеватая, тяжелая пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
- легкая крупная	65									
Суглинки:										
- легкий, тяжелый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
- легкий пылеватый, тяжелый пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23

Приложение 4

Пример оценки модулей упругости слоев дорожной конструкции на стадии эксплуатации

Обследование дорожной конструкции производилось на участке автомобильной дороги II технической категории. Толщины слоев дорожной конструкции на обследуемом участке приведены в таблице П.4.1. Модули упругости слоев дорожной конструкции на обследуемом участке приняты в виде средневзвешенных величин в соответствии с ОДН 218.046-01.

Таблица П.4.1

Дорожная конструкция на обследуемом участке

Материал конструктивного слоя	Толщина слоя, см	Нормативное значение модуля упругости слоя (соответствующее нормативному времени 0.1 с)	Расчетное значение модуля упругости слоя (при времени приложения нагрузки 0.03 с.) МПа
Асфальтобетон, E_1	24	2500	3205
Щебень, E_2	31	350	350
Песок, E_3	10	120	120
Суглинок, E_4		40	40

На данном участке была проведена экспериментальная регистрация чаши динамических прогибов при ударном нагружении. Экспериментальная форма чаши динамических прогибов приведена на рисунке П.4.1

Экспериментальные испытания проводились в ходе расчетного периода года, при температуре 10°С. Значение модуля упругости пакета асфальтобетонных слоев принималось в виде средневзвешенного значения. Корректировка модуля упругости слоя асфальтобетона по времени приложения нагрузки производилась в соответствии с таблицей 1 для времени 0,03 с.

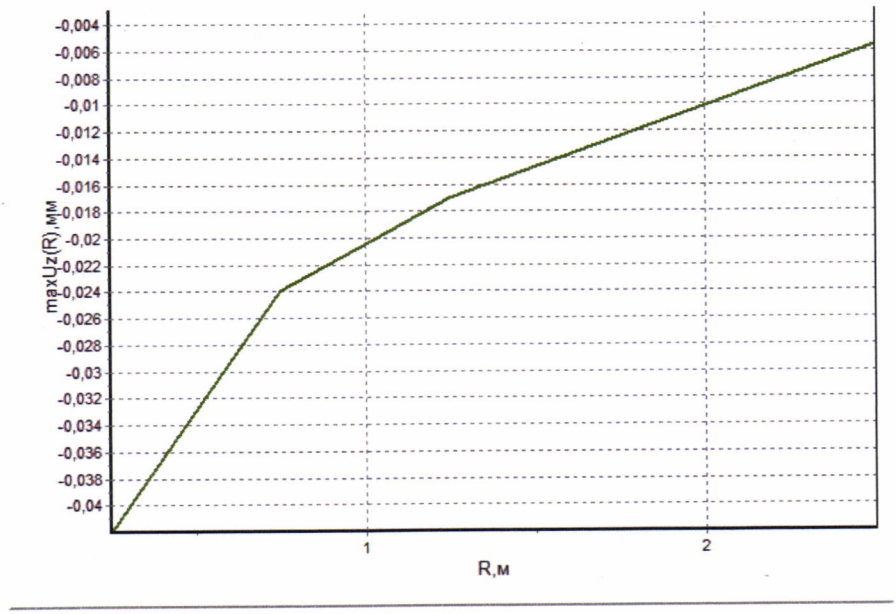


Рисунок П.4.1 – Экспериментальная чаша динамических прогибов дорожной конструкции

В программном комплексе «АЭМ» произведен расчет и построение расчетной чаши динамических прогибов при параметрах нагружения, соответствующих регистрации экспериментальной чаши динамических прогибов. Определение модулей упругости слоев дорожных конструкций на стадии эксплуатации осуществляется путем последовательного приближения расчетных вертикальных перемещений покрытия относительно экспериментальных при корректировке значений модулей упругости слоев. В основе процедуры корректировки лежат закономерности, связывающие модули упругости элементов дорожных конструкций с зонами в геометрии чаши динамических прогибов дорожной конструкции:

0-0,25 м – зона, связанная с параметрами слоев покрытия дорожной одежды;

0,25-0,75 м – зона, связанная с параметрами слоев основания дорожной одежды;

0,75-1,25 м – зона, связанная с параметрами дополнительных слоев основания дорожной одежды и грунта земляного полотна;

1,25-2,5 м – зона, связанная с параметрами грунта земляного полотна.

Данная процедура реализована в программном автоматизированном комплексе «АЭМ».

Сопоставление расчетной и экспериментальной чаш максимальных динамических прогибов приведено на рисунке П.4.2. Откорректированные чаши максимальных динамических прогибов приведены на рисунке П.4.3.

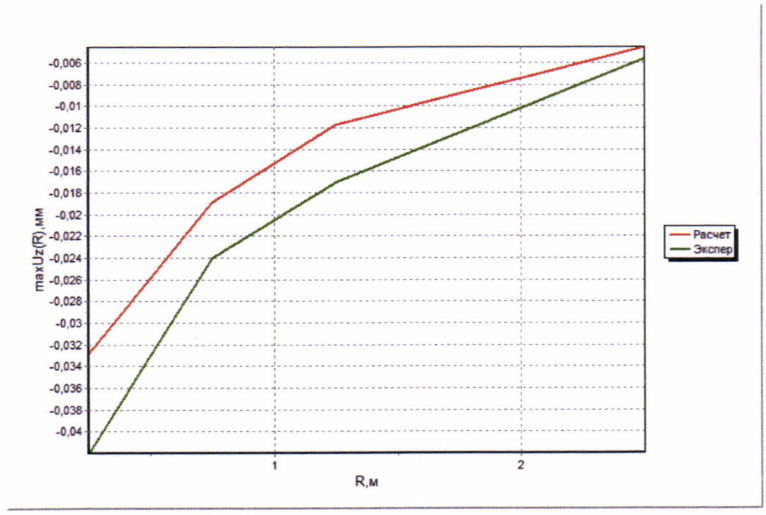


Рисунок П.4.2– Экспериментальная и расчетная чаши динамических прогибов на обследуемом участке до корректировки.

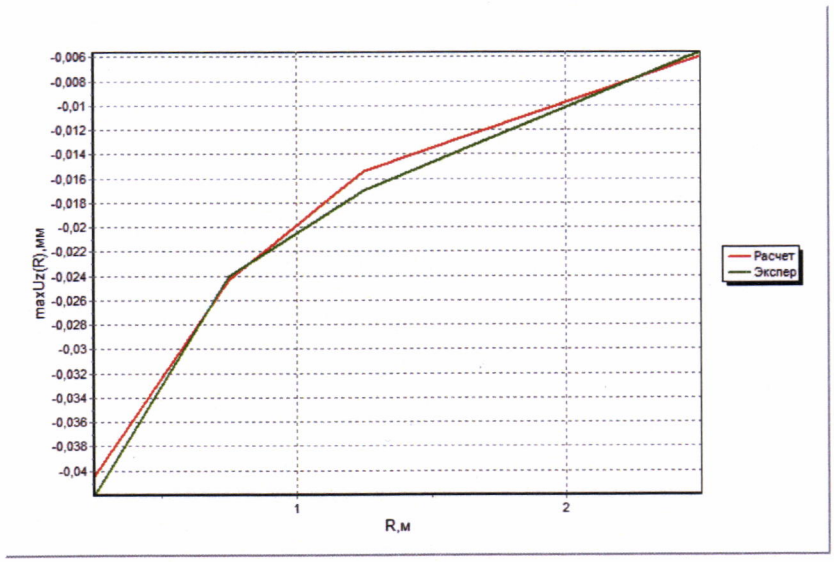


Рисунок П.4.3– Экспериментальная и расчетная чаши динамических прогибов на обследуемом участке после корректировки.

Согласно таблице П.4.2 по результатам корректировки чаш максимальных динамических прогибов достигается требуемая величина погрешности между экспериментальными и расчетными вертикальными перемещениями на поверхности обследуемой дорожной конструкции не превышающая 10 %. Результаты оценки значений модуля упругости дорожной конструкции на стадии эксплуатации приведены в таблице П.4.3.

Таблица П.4.2

Сопоставление экспериментальных и расчетных вертикальных перемещений на поверхности конструкции

Расстояние от точки ударного воздействия, м	**U эксп, мм**	**U расч, мм**	**Погрешность,%**
0.25	**0.0410**	**0.0418**	**1.90**
0.75	**0.0240**	**0.0241**	**0.40**
1.25	**0.0169**	**0.0155**	**8.28**
2.5	**0.0058**	**0.0061**	**4.92**

Таблица П.4.3

Результаты оценки модулей упругости слоев дорожной конструкции на стадии эксплуатации

Материал конструктивного слоя	Модуль упругости на стадии эксплуатации (соответствующий нормативному времени приложения нагрузки 0,1 с), МПа
Асфальтобетон, E_1	1500
Щебень, E_2	150
Песок, E_3	80
Суглинок, E_4	30

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее ослабленным слоем данной дорожной конструкции является слой щебеночного основания. Снижение модуля упругости на стадии эксплуатации для данного слоя относительно нормативного значения достигает 57 %. Таким образом, в ходе разработки стратегии ремонтных работ для данного участка необходимо предложить не только устройство слоя усиления асфальтобетона, но и мероприятия по доведению модуля упругости слоя щебеночного основания до нормативных значений (в частности, ресайклинг).